Ressources naturelles Canada
Natural Resources Canada

Plan de lutte contre le puceron lanigère de la pruche pour le Canada

Caroline Emilson, Erin Bullas-Appleton, Donnie McPhee, Kathleen Ryan, Michael Stastny, Mark Whitmore, Chris J.K. MacQuarrie

Ressources naturelles Canada
Service canadien des forêts
Rapport d'information GLC-X-21F

Canada

Plan de gestion du puceron lanigère de la pruche pour le Canada

Caroline Emilson[1], Erin Bullas-Appleton[2], Donnie McPhee[3], Kathleen Ryan[4], Michael Stastny[3], Mark Whitmore[5], Chris J.K. MacQuarrie[1]

[1] Ressources naturelles Canada
Service canadien des forêts
Centre de foresterie des Grands Lacs
1219, rue Queen Est
Sault Ste. Marie (ON) Canada P6A 2E5

[2] Agence canadienne d'inspection des aliments
Services scientifique de la protection des végétaux
174 chemin Stone Ouest
Guelph (ON) Canada N1G 4S9

[3] Ressources naturelles Canada
Service canadien des forêts
Centre de foresterie de l'Atlantique
1350, rue Regent Sud
Fredericton (N.-B.) Canada E3B 5P7

[4] Silv-Econ Ltd.
913 Southwind Court
Newmarket (ON) Canada L3Y 6J1

[5] Cornell University
Department of Natural Resources
Ithaca, NY 14852, USA

Publié par :
Ressources naturelles Canada
Service canadien des forêts
Centre de foresterie des Grands Lacs
1219, rue Queen Est
Sault Ste. Marie (Ontario) P6A 2E5

Rapport d'information : GLC-X-21F
2018

* Photos de la page de titre : fournies par Erin Bullas-Appleton

Bibliothèque et Archives Canada offre des renseignements sur le catalogage de cette publication.

Plan de gestion du puceron lanigère de la pruche pour le Canada
(Rapport d'information, GLC-X-21F)

Publié aussi en anglais sous le titre : « Hemlock Woolly Adelgid Management Plan for Canada ».
Caroline Emilson[1], Erin Bullas-Appleton[2], Donnie McPhee[3], Kathleen Ryan[4], Michael Stastny[3], Mark Whitmore[5], Chris J.K. MacQuarrie[1]

Monographie électronique en format PDF.
Comprend des références bibliographiques.
ISBN 978-0-660-26383-0
N° de catal. : Fo123-2/21-2018F-PDF

Le contenu de cette publication ou de ce produit peut être reproduit en tout ou en partie, et par quelque moyen que ce soit, sous réserve que la reproduction soit effectuée uniquement à des fins personnelles ou publiques mais non commerciales, sans frais ni autre permission, à moins d'avis contraire.

On demande seulement :

- de faire preuve de diligence raisonnable en assurant l'exactitude du matériel reproduit;
- d'indiquer le titre complet du matériel reproduit et le nom de l'organisation qui en est l'auteur; et
- d'indiquer que la reproduction est une copie d'un document officiel publié par Ressources naturelles Canada (RNCan) et que la reproduction n'a pas été faite en association avec RNCan ni avec l'appui de celui-ci.

La reproduction et la distribution à des fins commerciales sont interdites, sauf avec la permission écrite de RNCan. Pour de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec RNCan à droitdauteur.copyright@rncan-nrcan.gc.ca.

©Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre de Ressources naturelles Canada, 2018

Table des matières

List des abréviations v

Remerciements 1

Résumé 2

Introduction 4

Objectifs et approche 6

Évaluation des risques 6

Probabilité d'introduction 6
Analyse des ressources à risque 7
Conséquences de l'introduction 9

Détection et surveillance 10

Méthodes de détection 10
Identification 11
Délimitation et surveillance 11

Gestion des risques 11

Lutte chimique 11
Lutte biologique 12
Lutte sylvicole 15
Restauration et réhabilitation 15
Cadre d'intervention contre les espèces envahissantes 18

Politiques et législation 18

Éducation et sensibilisation 19

Besoins en recherche 19

Ouvrages cités 22

List des abréviations

AAC	.....	Agriculture et Agroalimentaire Canada
ACIA	.....	Agence canadien d'inspection des aliments
ARLA	.....	Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire
CNSF	.....	Centre national de semences forestières
CEE	.....	Centre des espèces envahissantes
OMNRF	.....	Ministère des Richesses naturelles et des Forêts
PLP	.....	Puceron lanigère de la pruche
UAV	.....	Véhicules aériens sans pilote

Remerciements

Nous remercions Jon Sweeney et Wayne MacKinnon du Centre de foresterie de l'Atlantique du Service canadien des forêts, David Nisbet et Quinn MacDonald du Centre de recherche sur les espèces envahissantes, Troy Kimoto, Ron Neville et Julie Laplante de l'Agence canadienne d'inspection des aliments, Celia Boone du ministère des Ressources naturelles de la Nouvelle-Écosse et Mathew Smith, de Parcs Canada, d'avoir examiné et commenté une version antérieure du document.

Nous souhaitons remercier également tous les autres membres du comité consultatif technique du puceron lanigère de la pruche pour leur contribution, ainsi que le ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario, le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec, le ministère du Développement de l'énergie et des ressources du Nouveau-Brunswick, le ministère des Ressources naturelles de la Nouvelle-Écosse et le ministère des Collectivités, des Terres et de l'Environnement de l'Île-du-Prince-Édouard, qui ont fourni des renseignements sur les stocks de pruche et sur l'utilisation des scieries dans leurs provinces respectives.

Résumé

Le rapport décrit les éléments d'un plan de lutte contre le puceron lanigère de la pruche (*Adelges tsugae* Annand), ou PLP, pour les provinces de l'Est à l'exception de Terre-Neuve. Il se fonde sur les évaluations précédentes des risques et l'analyse des pratiques de recherche et de lutte concernant le PLP mises en œuvre dans l'est des États-Unis. On n'a pas encore découvert de tactique capable à elle seule d'enrayer la mortalité généralisée des pruches causée par le PLP dans l'Est américain, ce qui montre la nécessité d'une lutte intégrée. Voici une liste des tactiques de lutte qui pourraient être employées au Canada, ainsi que les besoins éventuels en matière de recherche et les recommandations connexes.

1. Continuer à surveiller de près les peuplements de pruche à l'affût d'autres incursions du PLP.

La détection précoce des incursions du PLP constitue un élément essentiel pour limiter la propagation et l'établissement du PLP dans l'Est canadien. Il faudrait développer les relevés visuels actuels et les compléter par d'autres méthodes afin d'améliorer la détection de faibles densités du PLP. De plus, pour réussir à établir l'ordre de priorité des efforts de surveillance et de détection, il faut dresser l'inventaire complet des pruches.

2. Couper, éliminer et surveiller les peuplements de pruche où le PLP se localise.

Lorsque les incursions du PLP sont petites et localisées et que l'éradication est jugée possible, il convient de continuer à couper et à incinérer les pruches, ainsi que de réaliser des études de délimitation pendant les cinq années suivant la détection. Il faut définir des critères formels pour déclarer quand l'infestation est suffisamment petite pour tenter l'éradication.

3. Traiter les arbres de grande valeur avec des insecticides systémiques.

Les insecticides sont un outil d'intervention rapide et précieux qui peut être utilisé : pour maintenir la survie des pruches de grande valeur en tuant le PLP, pour ralentir la dissémination du PLP en traitant les pruches qui bordent les zones infestées et pour gagner du temps jusqu'à ce que la lutte biologique ou d'autres mesures de lutte fassent effet. Par conséquent, il faut envisager la certification d'un insecticide systémique à base d'imidaclopride (p. ex. IMA-jet[MD] ou Confidor[MD]) contre le PLP au Canada. De plus, pour évaluer le risque entourant l'injection dans les arbres d'insecticides à base d'imidaclopride contre le PLP au Canada, il faut étudier l'effet qu'a sur l'écosystème l'imidaclopride contenu dans les feuilles mortes tombées. Par ailleurs, il pourrait être envisagé, après en avoir étudié l'efficacité, de certifier le TreeAzin[MD], un insecticide botanique injectable, pour le traitement du PLP au Canada.

4. Élaborer un programme de lutte biologique contre le PLP au Canada.

La régulation biologique est une option de lutte à long terme qui constituera un outil essentiel maintenant que le PLP s'est établi en Nouvelle-Écosse. Les ministères fédéraux et provinciaux devraient recueillir et étudier les prédateurs du PLP qui se trouvent dans l'Ouest canadien et collaborer avec les États-Unis pour étudier et perfectionner les techniques d'élevage des prédateurs les plus prometteurs repérés à ce jour. De plus, les chercheurs canadiens devraient entreprendre des essais de lutte biologique et des recherches sur les populations établies dans le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse. La création d'insectariums de terrain pour l'élevage en Nouvelle-Écosse pourrait également être étudiée.

5. Procéder à la lutte sylvicole, y compris l'éclaircie, la réduction du nombre de pruches dans les forêts aménagées, la taille des arbres et l'emploi de barrières physiques, pour réduire la dissémination du PLP.

Les premières recherches ont montré que l'exposition accrue à la lumière peut réduire la survie du PLP et augmenter la photosynthèse de la pruche. Les gouvernements fédéral et provinciaux devraient investir dans d'autres recherches dans ce domaine afin d'évaluer si l'éclaircie sylvicole est une technique viable de lutte contre le PLP. En particulier, il faudrait étudier si les effets positifs de l'éclaircie pour la lutte contre le PLP peuvent être obtenus sans compromettre le biote associé à l'habitat ombragé unique des peuplements de pruche denses. Une autre tactique qui pourrait être utilisée serait d'augmenter la zone tampon (définie en fonction de l'analyse de

l'infestation) entre les peuplements infestés et les peuplements non infestés de grande valeur en abattant la pruche dans les forêts aménagées pour réduire le nombre d'arbres-hôtes disponibles qui favorisent la dissémination. Encore une fois, il faudrait d'abord dresser l'inventaire complet de la pruche afin de repérer les peuplements de grande valeur. De plus, lorsque l'éradication n'est pas possible, des moyens de lutte mécanique pourraient être adoptés pour ralentir la propagation du PLP par la limitation du contact avec les vecteurs potentiels (c.-à-d. humains, véhicules et animaux).

6. **Commencer à recueillir des graines de pruche du Canada pour la préservation de la diversité génétique et les efforts de restauration.**

La préservation de la diversité génétique de la pruche du Canada est importante pour les futurs efforts de restauration et de réhabilitation. Par conséquent, Ressources naturelles Canada devrait augmenter sa collection, actuellement conservée au Centre national des semences forestières (CNSF) à Fredericton, au Nouveau-Brunswick, et en assurer la pérennité, en recueillant et en conservant une plus grande quantité de graines de pruche du Canada dans l'est du pays. Il faudrait prioriser les semences provenant du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse, compte tenu des populations établies du PLP dans cette région qui font périr la pruche. En partenariat avec l'Est américain, il faudrait poursuivre les recherches sur des échantillons naturellement résistants de pruche du Canada pour aider à repérer les gènes d'hôtes naturellement résistants aux fins de la reproduction. En outre, deux plantations expérimentales contenant des échantillons de pruche du Canada tirés de l'ensemble de l'aire de répartition de l'espèce dans l'Est canadien ont été entreprises en 2011, et elles permettent de poursuivre la recherche sur la variabilité génétique et phénotypique.

7. **Élaborer un double cadre d'intervention contre les espèces envahissantes qui sera appliqué au PLP établi en Nouvelle-Écosse et aux nouvelles incursions du PLP dans le reste de l'Est canadien.**

Un cadre d'intervention relatif aux espèces envahissantes est utile, car il permet d'éviter le dédoublement des services, tout en permettant la prise de mesures ponctuelles. Une fois élaboré, ce cadre peut être mis à l'essai en moyen d'exercices d'intervention d'urgence et de scénarios simulés visant à assurer la préparation aux situations futures. Étant donné que des populations du PLP sont déjà établies dans certaines parties de la Nouvelle-Écosse, un cadre double devrait être élaboré pour décrire les mesures d'intervention dans les cas suivants : (1) populations du PLP établies, et (2) incursions du PLP nouvellement découvertes.

8. **Évaluer et documenter la dynamique des populations établies du PLP et l'impact sur les peuplements de pruche dans le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse.**

La découverte du PLP et de la mortalité de la pruche qu'il provoque dans le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse constitue le premier cas de populations du PLP établies dans l'est du Canada. Par conséquent, l'étude de la dynamique des populations du PLP et de l'impact de ces populations sur les peuplements de pruche en Nouvelle-Écosse est essentielle à l'élaboration d'un plan efficace de lutte contre le PLP en Nouvelle-Écosse et dans tout l'Est canadien. En particulier, l'analyse de la table de survie centrée sur la mortalité des sistens estivants en été et sur la mortalité des larves au cours des mois froids de l'hiver permettrait de comprendre l'impact des conditions météorologiques en Nouvelle-Écosse sur le PLP. Par ailleurs, l'observation des tendances des populations du PLP et de la mortalité des pruches par rapport à des variables telles que la variation climatique, la sécheresse et la défoliation par l'arpenteuse à taches (*Iridopsis ephyraria*) peut s'avérer éclairante.

9. **Continuer de travailler à la sensibilisation et à l'éducation afin de rallier les appuis.**

La sensibilisation et le soutien des collectivités et des intervenants sont essentiels à la réussite de tout programme de lutte, car ils permettent d'agir dans des délais adéquats, évitent les réactions négatives dues aux malentendus et permettent de mieux surveiller les incursions d'organismes nuisibles. Un récent sondage diffusé aux intervenants en Ontario par le Centre de recherche sur les espèces envahissantes et Silv-Econ a déterminé le besoin d'une fiche d'information sur les organismes nuisibles, disponible sous forme électronique et imprimée, et d'une brochure sur les pratiques exemplaires de lutte contre le PLP à l'intention des propriétaires de terrains boisés. Par conséquent, les ministères provinciaux, les organismes indépendants et les municipalités devraient investir davantage dans la sensibilisation et l'éducation des collectivités et des intervenants en diffusant les

connaissances sur le PLP et sur les stratégies employées pour le détecter et le maîtriser. La sensibilisation des collectivités et des intervenants devrait se poursuivre au moyen de feuilles d'information sur les organismes nuisibles, de sites Web et d'événements.

Introduction

Le puceron lanigère de la pruche (*Adelges tsugae* Annand), ou PLP, de la famille des hémiptères, est un ravageur envahissant originaire d'Asie qui cause la mortalité de la pruche du Canada et de la pruche de la Caroline (espèces du genre *Tsuga*) dans l'est des États-Unis (Havill et coll., 2006). Le puceron lanigère de la pruche préoccupe de plus en plus dans l'Est canadien, parce qu'il s'établit et se propage sur la pruche du Canada (*Tsuga canadensis*) et surtout parce qu'on a découvert récemment des populations du PLP établies dans le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse. Espèce fondatrice, la pruche est une ressource naturelle importante qui crée des conditions uniques dans ses habitats terrestres et riverains. Elle pousse lentement, a une longue durée de vie et une couronne qui fournit un habitat frais et ombragé et une hydrologie constante (Ward et coll., 2004). De nombreux mammifères, oiseaux, insectes et organismes aquatiques dépendent de l'habitat particulier créé par cet arbre (Tingley et coll., 2002; Ward et coll., 2004). En plus d'offrir un habitat essentiel au biote, la pruche a une grande valeur sociale, étant reconnue pour sa cime massive et ses qualités longévives. La pruche du Canada est la seule espèce de pruche dont la situation préoccupe en raison du PLP dans l'Est canadien, et sa répartition d'origine est limitée, pour l'essentiel, sous le 49^{e} parallèle en Ontario, au Québec et au Canada atlantique, hormis Terre-Neuve (figure 1). Bien que la pruche du Canada ne soit pas une source importante de revenus au pays, une petite quantité est encore utilisée dans les usines de pâtes et papiers et comme bois de construction.

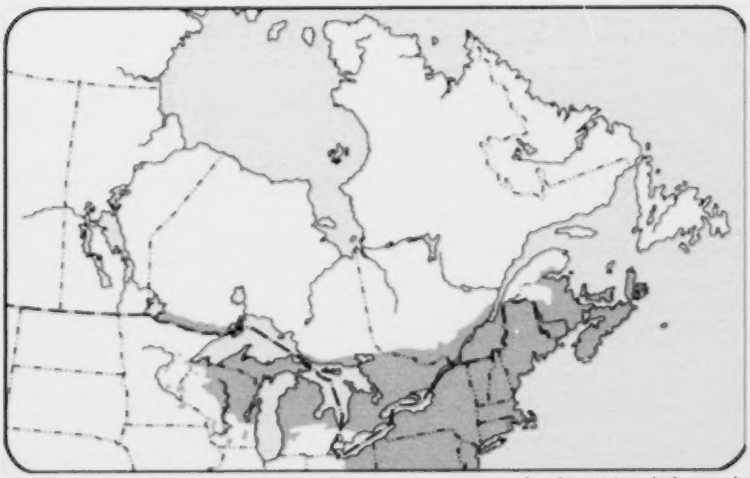

Figure 1. *Carte de Ressources naturelles Canada montrant la répartition de la pruche du Canada dans les provinces de l'Est et les États américains limitrophes. Source : https://aimfc.rncan.gc.ca/fr/arbres/fiche/75 [document consulté le 27 février 2018].*

Le PLP cause la mortalité de la pruche en se nourrissant de cellules de parenchyme des rayons ligneux dans des rameaux et des pousses à la base des aiguilles, ce qui provoque la mort des bourgeons et empêche les nouvelles pousses. Le PLP produit deux générations par an sur la pruche : des sistens sans ailes et des progrediens sans ailes, qui se reproduisent asexuellement dans les deux cas. Dans sa gamme d'hôtes, le PLP adopte l'épinette comme hôte principal, sur lequel il se reproduit par reproduction sexuée (Havill et coll., 2014). En Amérique du Nord, toutefois, le PLP n'a pas réussi à s'établir ou à se reproduire sur des espèces indigènes d'épinette (McClure, 1989).

Dans son aire de répartition naturelle en Asie, le PLP ne cause pas de mortalité importante chez l'hôte, parce qu'il a des prédateurs indigènes et que les hôtes sont plus résistants. Un lignage distinct du PLP existe dans l'ouest de l'Amérique du Nord, mais ces populations sont considérées comme indigènes et ne causent pas de mortalité importante de la pruche, en raison de la présence de prédateurs co-évolués (Havill et coll., 2014). Le PLP a été

signalé pour la première fois dans l'est de l'Amérique du Nord au début des années 1900 à Richmond, en Virginie, et son origine a été retracée dans le sud du Japon (Havill et coll., 2006). Depuis sa découverte, il s'est propagé à un taux d'entre 7,6 et 20,4 km/an (Trotter et coll., 2013), et il est maintenant établi aux États-Unis, du nord de la Géorgie et de l'Alabama au sud jusqu'aux États du nord limitrophes des provinces de l'Est canadien (figure 2). Au Canada, la présence du PLP a été confirmée en 2012 dans un petit nombre d'arbres paysagers à Etobicoke, en Ontario, et le puceron a probablement été introduit dans des produits de pépinière infestés provenant de la Pennsylvanie. Une très petite population a également été détectée dans la gorge du Niagara en 2013. On pense que son origine serait la migration des oiseaux, mais cette hypothèse n'a jamais été confirmée. Tous les arbres infestés par le PLP qui ont été relevés ont été détruits aux deux sites. Des relevés ont été effectués chaque année depuis que le PLP a été détecté pour tenter de l'éradiquer de l'Ontario (Fidgen et coll., 2013).

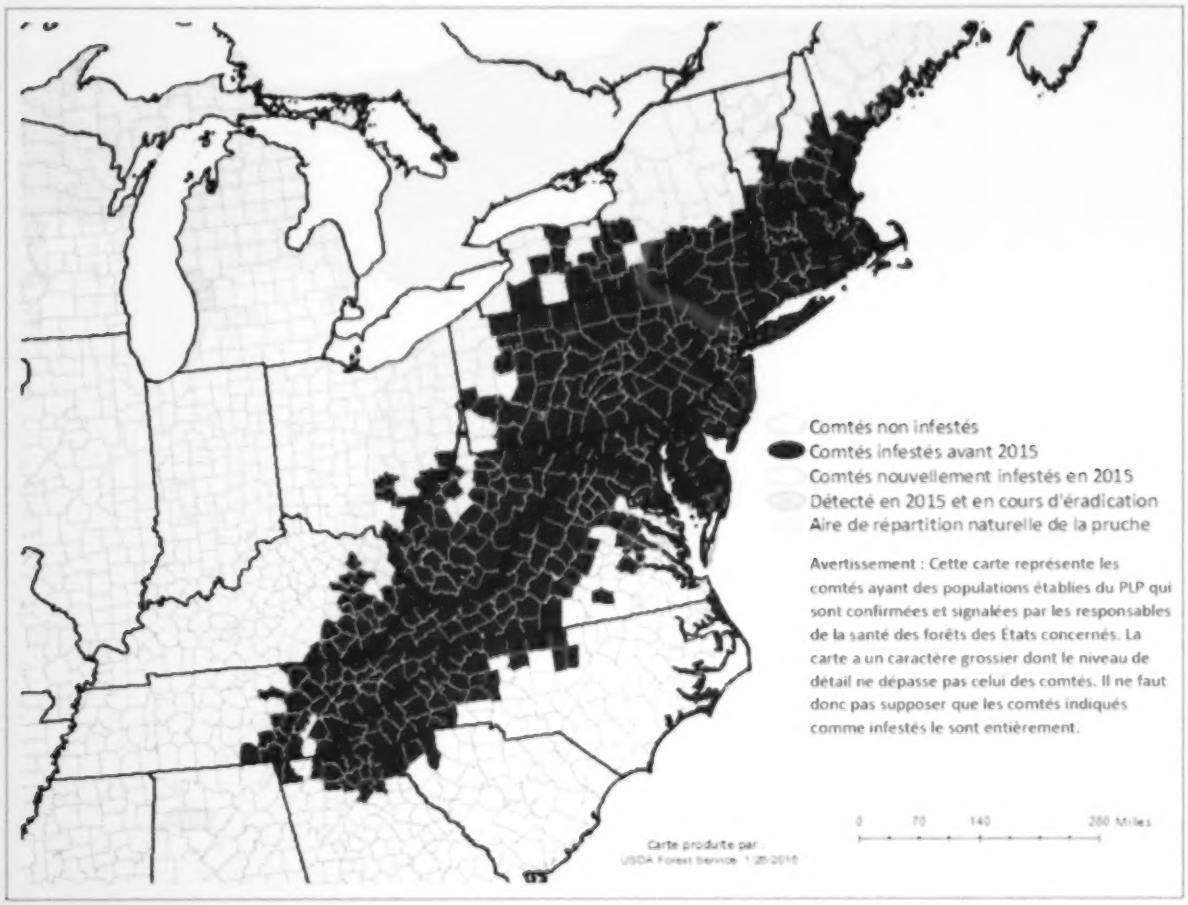

***Figure 2**. Carte publiée par le ministère de l'Agriculture des États-Unis montrant l'aire de répartition de la pruche et la propagation de l'infestation par le PLP en 2015. Le vert indique la répartition de la pruche, le jaune indique les zones nouvellement infestées en 2015 et le rouge indique les zones infestées avant 2015. Source : https://www.fs.usda.gov/naspf/resources/2015-hemlock-woolly-adelgid-infestation-map [document consulté le 27 février 2018].*

En juin 2017, on a constaté que le PLP était bien établi dans cinq comtés du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse (Agence canadienne d'inspection des aliments [ACIA], 2017a). La détection du PLP dans un site a déclenché des relevés qui ont permis de découvrir plusieurs sites dans le sud-ouest de la province, également infestés (ACIA, 2017b). Selon la taille de la population, on estime que le PLP est établi dans le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse depuis plus de 10 ans. Sa détection en 2017 coïncide avec la sécheresse des dernières années qui a pu accélérer

le dépérissement des peuplements de pruche infestés. Les incursions du PLP documentées dans l'Est canadien et sa progression continue vers le nord dans l'Est américain confirment la menace que le PLP pourrait se propager dans toute l'aire de répartition de la pruche dans l'est du Canada. Les mesures visant à réduire le risque de propagation du PLP dans cette région comprennent la mise en œuvre d'exigences phytosanitaires (ACIA, 2015a) et la sensibilisation des collectivités et des intervenants (Fidgen et coll., 2013; Ryan, 2013; ACIA, 2016). Cependant, compte tenu de l'étendue et de la gravité de l'infestation dans l'Est américain, de la découverte récente de populations établies dans le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse et du risque de propagation du PLP à d'autres parties de l'Est canadien, il est essentiel d'avoir un plan de lutte contre le PLP pour repérer les lacunes critiques en matière de recherche et veiller à la prise immédiate de mesures.

Objectifs et approche

Le principal objectif de ce rapport est de tabler sur les évaluations précédentes des risques (Section biologique de l'agriculture 1988, Agriculture et Agroalimentaire Canada [AAC], 1994; Dumouchel-ACIA, 2000) pour décrire les éléments d'un plan de lutte contre le PLP pour l'est du Canada. Afin de déterminer les prochaines étapes, nous examinons les facteurs qui pourraient influer sur la propagation du PLP et les effets sur la pruche du Canada (évaluation des risques), les outils de détection et les méthodes de surveillance actuels (détection et surveillance) et les mesures de lutte prises maintenant dans l'Est canadien ainsi que les solutions futures (gestion des risques). Nous cernons les lacunes possibles en matière de recherche (besoins en recherche), examinons les politiques et règlements en vigueur (politiques et règlements) et élaborons un plan de sensibilisation (sensibilisation et éducation) afin d'assurer une gestion et une intervention efficaces face à l'établissement actuel du PLP et à l'expansion future de son aire de répartition dans l'est du pays.

Évaluation des risques

Probabilité d'introduction

Le **risque que le PLP soit introduit dans de nouvelles régions de l'est du Canada est élevé** maintenant qu'il s'est établi dans une vaste région du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse et qu'il a élargi son aire de répartition aux États-Unis pour inclure 19 États, y compris le Maine.

Bien que la propagation naturelle du PLP au stade de la chenille et par la pluie, le vent et les animaux soit considérée comme locale (≤ 30 km/an), il existe des cas de **dissémination naturelle sur de plus longues distances**. **La migration et le déplacement des oiseaux** constituent une voie de dissémination préoccupante pour l'introduction et la propagation du PLP des États-Unis au Canada, car les œufs et les chenilles peuvent être transportés par les oiseaux, ce qui favorise une dissémination plus éloignée dans des peuplements non infestés (McClure, 1990; Russo et coll., 2016).

Le PLP peut également être propagé par les humains au moyen de produits de pépinière, de grumes et de bois de chauffage transportés des zones infestées. Dans la plus récente évaluation des risques pour le PLP, l'introduction d'œufs ou de chenilles sur les billes de pruche et les espèces de feuillus associées provenant des zones infestées lorsque ces stades sont abondants (de mars à juillet) a été jugée comme un risque moyen, et l'introduction du PLP sur les semis et les produits de pépinière infestés a été reconnue comme un risque élevé (Dumouchel, 2000). En 2007, des produits destinés à la multiplication (végétaux destinés à la plantation et produits de pépinière) et des produits non destinés à la multiplication (arbres de Noël, couronnes, feuillages, branches, produits forestiers avec écorce, grumes, copeaux d'écorce et bois de chauffage) de pruche, d'épinette de Hondo et d'épinette à queue tigrée ont été désignés comme articles réglementés pour importation au Canada. Après l'apparition documentée du PLP en 2012 à Etobicoke, où il a été introduit par des produits de pépinière importés de Pennsylvanie, la circulation des articles réglementés à l'égard du PLP a aussi été réglementée par la législation phytosanitaire pour inclure les importations des régions infestées et non infestées par le PLP (uniquement pour le matériel destiné à la multiplication) des États-Unis vers toutes les régions du Canada (ACIA, 2015a, 2015b). Dans les régions infestées par le PLP en Nouvelle-Écosse, un arrêté concernant les lieux infestés

a également été décrété pour contrôler le transport d'articles réglementés (ACIA, 2017b), et Parcs Canada a imposé une interdiction d'importer du bois de chauffage pour le parc national Kejimkujik. McClure (1990) a noté des densités comparables d'œufs du PLP sur les troncs des espèces de feuillus associées. **Étant donné que l'exploitation forestière à grande échelle n'est pas restreinte actuellement dans les forêts infestées par le PLP, le transport du PLP sur les troncs d'autres espèces d'arbres associées reste une voie possible de dissémination.** En outre, le risque de transport par les humains pratiquant des activités de loisir dans les zones infestées est particulièrement élevé de mars à juillet, lorsque les œufs et les chenilles sont les plus abondants.

Analyse des ressources à risque

Au pays, tous les arbres de la pruche du Canada sont vulnérables au PLP. L'âge et la résistance ne semblent pas être des facteurs limitatifs quand on évalue la mortalité causée par le PLP (Koch et coll., 2006). L'espèce est présente dans le sud de l'Ontario, le sud-ouest du Québec, le Nouveau-Brunswick, la Nouvelle-Écosse et l'Île-du-Prince-Édouard. De son côté, le puceron lanigère de la pruche est actuellement observé dans les zones de rusticité 5 et 6. Dans la partie sud des États-Unis, le PLP tue généralement les arbres en trois ou quatre ans (Shields et Cheah, 2004), mais il faut parfois plus de dix ans pour que les arbres meurent dans les régions plus froides. Des températures hivernales extrêmement basses peuvent vraiment décimer les populations du PLP (Paradis et coll., 2008). Cependant, celles-ci peuvent se rétablir dans les années suivant des épisodes de froid extrême (Fidgen et coll., 2013), et on a récemment eu la preuve que les populations du PLP de l'est de l'Amérique du Nord commencent déjà à s'adapter à des conditions plus froides (Lombardo et Elkinton, 2017). La propagation du PLP vers le nord en raison de la hausse des températures hivernales a également été prévue par les modèles de changements climatiques (Paradis et coll., 2008; McAvoy et coll., 2017). On ne peut donc pas présumer que le temps hivernal froid empêchera la propagation du puceron dans les peuplements de pruche actuellement situés dans la zone de rusticité 4. En fait, les changements climatiques vont probablement accentuer le déclin des pruches dans cette région; la pruche du Canada était l'une des cinq espèces d'arbres du nord-est des États-Unis ayant la capacité d'adaptation la plus faible aux changements climatiques, en raison de sa vulnérabilité au PLP et de son intolérance relative à la sécheresse (Janowiak et coll., 2018).

En Ontario, la pruche représente environ 1 % du matériel sur pied et couvre une superficie totale de 1 065 952 ha (terres publiques, parcs et zones protégées, autres), souvent près de l'eau, avec le bouleau jaune et l'érable (ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario [MRNFO], 2016). La coupe annuelle moyenne de pruche entre 2014 et 2016 en Ontario représentait 20 430 m^3, et 22 usines en moyenne ont transformé la pruche en produits composites, bois de chauffage, pâtes et billes (correspondance électronique McCormack, 2017).

Au Québec, une aire de 79 350 ha est dominée par la pruche (c.-à-d. que la pruche occupe plus de 25 % de la surface terrière dans un peuplement) et la pruche représente 0,246 % de la forêt productive. Entre 2014 et 2016, on a coupé en moyenne 12 114 m^3 de pruche par année, 31 usines en moyenne ayant transformé la pruche en pâtes, billes, ou produits de cogénération ou autres (correspondance électronique Lacroix, 2017).

Au Nouveau-Brunswick, la pruche occupe environ 97 629 ha (1,6 % de la superficie forestière totale) où elle représente de 10 à 100 % du peuplement forestier. En moyenne, 11 311 m^3 de pruche ont été coupés annuellement entre 2014 et 2016. Quatre à six usines ont procédé à la transformation de la pruche chaque année de 2014 à 2016 (correspondance électronique Gannon, 2017).

Les terres privées représentent 90 % de l'Île-du-Prince-Édouard. La pruche et sa coupe y sont négligeables. L'arbre se trouve généralement sur les berges des cours d'eau, et sert à l'usage privé des agriculteurs, qui en font des poutres de grange (correspondance électronique Bain, 2017).

En Nouvelle-Écosse, l'inventaire forestier établi par relevés photographiques indique que sur les 2,8 millions d'hectares de forêts matures pour la régénération, 4 % (112 000 ha) sont considérés comme des forêts de pruches matures. Les données sur les parcelles-échantillons permanentes recueillies entre 2012 et 2016 dans l'ensemble de la province indiquent qu'environ 2,5 % de la surface terrière est occupée par la pruche du Canada

(correspondance électronique McGarrigle, 2018). Environ 48 à 57 usines, dont toutes les petites exploitations et les scieries mobiles, ont transformé une certaine quantité de pruche chaque année de 2014 à 2016. En général, la quantité de pruche transformée dans chacune de ces usines ne représentait qu'un petit pourcentage du bois total transformé (correspondance électronique Hudson, 2017).

La détermination des zones à haut risque d'invasion par le PLP sera essentielle à la réussite des efforts de surveillance et de suivi. Par conséquent, l'**absence d'un inventaire complet indiquant l'emplacement et la quantité de pruches dans l'est du Canada** est l'un des **plus grands obstacles à une lutte efficace**, et il faut y remédier. Une fois qu'on disposera d'un inventaire plus complet des pruches, il sera possible d'appliquer divers facteurs pour établir l'ordre de priorité des efforts de lutte. Par exemple, pour hiérarchiser les activités de surveillance et favoriser la détection précoce du PLP, on peut retenir les données sur la répartition et le niveau d'infestation des populations du PLP établies et leur proximité avec des peuplements non infestés (p. ex. dans un rayon de 100 km), les emplacements du matériel de pépinière des pruches, l'état de santé et le type d'habitat des arbres (Livingston et coll., 2017), les routes de migration des oiseaux ainsi que la valeur sociale et économique du peuplement menacé. Des modèles antérieurs d'un système d'évaluation du risque spatial (p. ex. les modèles du SCF et de l'ACIA pour le longicorne brun de l'épinette) pourraient être utilisés pour élaborer un système d'évaluation du risque à l'échelle du paysage pour le PLP.

Silv-Econ a commencé à constituer une base de données sur les peuplements de pruches en Ontario à partir de sources comme les offices de protection de la nature, les municipalités de palier supérieur et inférieur, les permis de foresterie durable, le MRNFO et les particuliers. Cette base de données sur la pruche comprend le pourcentage de couverture de la pruche, la description de la composition du peuplement et la source des données, et elle contient des données de relevé et de détection (correspondance électronique Ryan, 2017). La base est constamment mise à jour, mais elle n'est pas encore complète et nécessite d'autres données, particulièrement dans le sud de l'Ontario, où la plupart des terres appartiennent à des particuliers (figure 3). Les données d'inventaire dans les provinces maritimes pourraient être améliorées, en particulier dans les régions urbaines. La collecte de données pour alimenter une base de données sur la pruche dans l'Est canadien pourrait être obtenue par d'autres activités communautaires visant à encourager la communication des données sur les peuplements de pruche et par des techniques de télédétection comme le LiDAR ou l'imagerie haute résolution.

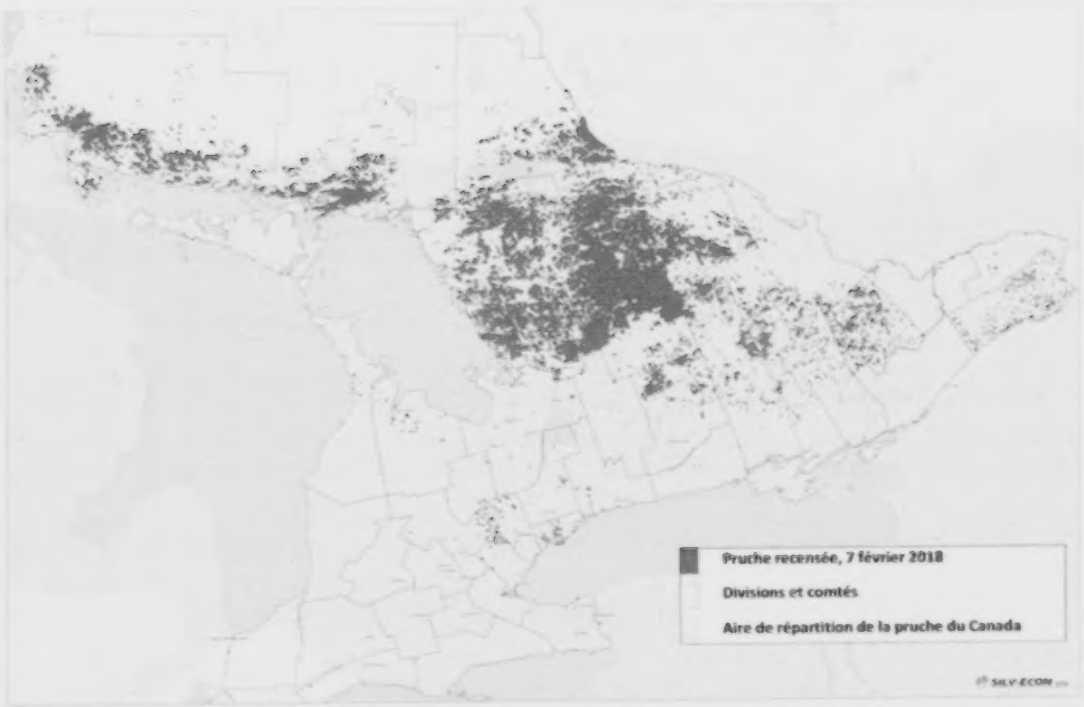

Figure 3. *Répartition recensée (en vert) et prévue (en gris clair) de la pruche du Canada en Ontario. Collaboration du groupe de travail des forestiers sur le puceron lanigère de la pruche. Carte mise à jour le 17 janvier 2018. Produite à l'aide des renseignements obtenus en vertu d'une licence accordée à l'Office de protection de la nature de Grey-Sauble. © Grey Sauble Conservation Authority, 2018.*

Conséquences de l'introduction

Impact environnemental et économique : La propagation du PLP dans l'est des États-Unis n'est pas maîtrisée, et elle a provoqué la mortalité totale de certains peuplements de pruche (Havill et coll., 2014; Brantley et coll., 2015). L'invasion du PLP et la mortalité subséquente de la pruche dans l'Est canadien ont des répercussions sur la fourniture d'écoservices et sur les habitats essentiels, les valeurs esthétiques, la chasse, la valeur foncière, le tourisme et, dans une moindre mesure, sur la disponibilité de produits forestiers fabriqués à partir de pruche.

Sur le plan environnemental, la mortalité des peuplements de pruche dans l'Est canadien entraînerait un changement complet dans les écosystèmes terrestres et aquatiques associés. Les changements successifs qui surviennent après la mort des peuplements de pruche à croissance lente entraînent le repeuplement par des espèces d'arbres à feuilles caduques (Spaulding et Rieske, 2010; Ingwell et coll., 2012) et une probabilité accrue d'invasion de plantes exotiques (Eschtruth et coll., 2006). Par exemple, *Alliaria petiolata* (herbe à l'ail), plante envahissante agressive dans l'Est canadien, a été observée dans des peuplements après la mortalité de la pruche aux États-Unis (Eschtruth et Battles, 2009). De même, le nerprun bourdaine (*Frangula alnus*), plante envahissante présente dans les régions de l'est du Canada et dont la propagation est freinée par l'ombre épaisse, peut se propager plus facilement après que le PLP a tué la pruche et donc réduit l'habitat ombragé (Cunard et Lee, 2009). Ces modifications successives entraînent un changement complet des écoservices, notamment le cycle des nutriments et de l'énergie, et l'utilisation et la disponibilité de l'eau (Jenkins et coll., 1999; Hadley et coll., 2008; Cobb, 2010) et changent les principales caractéristiques de l'habitat dont dépendent de nombreuses espèces (Tingley et coll., 2002; Ward et coll., 2004).

Les impacts économiques de la mortalité de la pruche due au PLP ne se limitent pas à la disparition de la ressource ligneuse. Par exemple, les peuplements de pruche peuvent aussi contribuer au tourisme de chasse en offrant un habitat d'hivernage idéal pour le chevreuil et l'orignal. Et la valeur foncière et les revenus tirés de l'écotourisme devraient diminuer en raison de la perte d'attrait esthétique et de l'environnement naturel unique offert par les peuplements de pruche.

Détection et surveillance

Méthodes de détection

La détection et la surveillance précoces du PLP sont essentielles aux mesures d'intervention rapide pour maîtriser le PLP au Canada. Cependant, la détection précoce est difficile, car il n'est pas facile d'identifier efficacement les peuplements de pruche de grande priorité aux fins des relevés sans avoir accès à un inventaire complet des peuplements de pruche au Canada et parce que les foyers d'infestation du PLP peuvent être très petits et difficiles à détecter visuellement du sol. Le protocole canadien de détection précoce, inspiré du protocole du Service des forêts du ministère américain de l'Agriculture (USDA) (Costa et Onken, 2006), propose un relevé visuel ciblant les larves, les adultes et les sacs d'œufs idéalement réalisé de mars à mai (ACIA, 2017c). Divers renseignements peuvent être utilisés pour choisir les peuplements à relever d'au moins 4 ha ayant une composante majeure de pruche : photos aériennes, inventaires forestiers, configuration des vents, routes migratoires des oiseaux, proximité des importateurs de produits de pruche de pépinière et proximité de l'est des États-Unis (≤ 100 km). Les releveurs actualisent leur image de recherche pour les pucerons seuls ou en petites grappes de masses laineuses avant de commencer, puis suivent une procédure par étapes qui comprend également des directives pour la collecte des échantillons. Des procédures d'examen de produits de pépinière dans les plantations, les parcs urbains et les espaces verts existent également (ACIA, 2017c).

Les relevés visuels ont permis de détecter le PLP dans la gorge du Niagara en 2013 et continuent donc d'être la principale méthode de détection de ce ravageur. Les tests d'efficacité peuvent constituer un domaine de recherche important pour garantir la réussite de la détection précoce et de la surveillance des incursions futures et actuelles du PLP. Par ailleurs, il faudrait probablement intégrer d'autres tactiques dans les protocoles de relevé. Ainsi, **dans les zones riveraines, lorsque cela est possible, les relevés lacustres peuvent compléter le protocole d'évaluation visuelle existant.** Les relevés lacustres sont effectués au printemps à partir d'un bateau et portent sur la pruche riveraine pour déterminer l'évidence de nouvelles pousses. Les pruches infectées par le PLP auront peu ou pas de pousses au printemps, et cela peut être détecté visuellement à partir du cours d'eau ou du lac. Les relevés lacustres ont été utilisés dans l'État de New York, parce qu'ils permettent l'accès et l'évaluation rapides et faciles aux peuplements riverains de pruche (Whitmore, communication personnelle, 2017). Cette technique peut s'avérer utile dans les peuplements riverains de pruche du Canada. De plus, le développement de méthodes d'évaluation de la pousse printanière de la pruche à l'aide de véhicules aériens sans pilote (UAV) ou de drones est en cours d'étude et, bien que ces techniques en soient à leurs débuts, elles promettent pour l'avenir.

D'autres méthodes de détection par collecte d'échantillons comprennent l'échantillonnage des branches, les pièges collants et l'échantillonnage par balles. Ces méthodes ont tendance à demander plus de temps que les relevés visuels, mais offrent un choix qui peut s'avérer plus sensible et plus utile dans certains cas pour détecter le PLP là où le relevé visuel ne le permet pas. Par exemple, **l'échantillonnage par balles présente des avantages lorsque les cimes sont trop hautes pour l'échantillonnage des branches ou l'évaluation visuelle** (Fidgen et coll., 2016), mais peut aussi prendre beaucoup de temps, car le releveur doit trouver et récupérer les balles tirées dans les cimes. Les pièges collants offrent une méthode d'échantillonnage qui cible les chenilles et sont plus sensibles à la détection des arbres infestés que l'échantillonnage des branches, qui est actuellement effectué pour la détection ou la délimitation dans les zones à haut risque ou suspectes. Toutefois, les pièges collants nécessitent l'identification des chenilles après la collecte, en particulier dans les peuplements où il y a également du pin blanc ou du sapin baumier pouvant héberger les pucerons *Adelges piceae* (Ratzeburg) ou *Pineus strobi* (Hartig) (Fidgen et coll., 2015). En conclusion, **il est nécessaire de développer les techniques de surveillance**

pour améliorer la détection du PLP à de faibles densités et surveiller la dissémination des populations établies. Cela pourrait amener à élaborer des protocoles de relevé et de détection propres à chaque lieu qui intégreraient plus d'une tactique. En outre, l'élaboration d'un cadre d'intervention basé sur des scénarios serait un atout, car il permettrait de **déterminer l'outil de relevé le mieux adapté pour chaque période et chaque endroit.**

Identification

Il n'y a aucun autre puceron observé sur la pruche dans l'est du Canada. Cependant, le PLP peut être confondu avec d'autres insectes (p. ex. cercopes, squeletteuse du chêne) d'autres arthropodes (p. ex. sacs d'œufs d'araignées, cochenilles), la blessure des tétranyques ou même des gouttes de sève de pin lorsqu'on a recours à des évaluations visuelles (USDA Forest Service, 2005). Le PLP se distingue de ces cas par les caractéristiques suivantes : les pelotes de laine sont cireuses et se trouvent dans des balles distinctes attachées en permanence au rameau ou à la branche à la base de l'aiguille (Ancient Forest Exploration and Research). Les photos et l'emplacement des cas soupçonnés de PLP peuvent être soumis à l'ACIA par téléphone (1-800-442-2342) ou par courriel Surveillance@inspection.gc.ca, ainsi qu'en utilisant l'application EDDMaps Ontario (eddmaps.org/Ontario; en Ontario seulement). **Le laboratoire d'entomologie de l'ACIA confirme officiellement la présence de nouvelles incursions du PLP à l'extérieur d'une zone réglementée établie.** La façon dont les incursions du PLP sont signalées, confirmées et documentées devrait être normalisée et facile d'accès pour toutes les provinces de l'Est préoccupées par le PLP.

Délimitation et surveillance

À la suite de la détection du PLP, des protocoles d'étude de délimitation ont été définis et mis en œuvre en réponse aux incursions du PLP en Ontario et en Nouvelle-Écosse. Un protocole d'étude de délimitation prévoit des relevés visuels et des échantillonnages de branches des arbres positifs et de la zone environnante afin de déterminer l'étendue de l'infestation et de surveiller toute propagation au fil du temps (ACIA et coll., 2017).

Gestion des risques

À ce jour, aucune méthode de lutte unique efficace n'a été trouvée contre le PLP pour prévenir la mortalité et la propagation dans l'est de l'Amérique du Nord. Il semble plutôt qu'un programme de lutte antiparasitaire intégrée soit nécessaire, qui comprend une série de tactiques différentes en fonction du stade d'infestation, de l'emplacement des arbres infestés et de la valeur du peuplement ou de l'arbre en question. Nous présentons ici les dernières méthodes de lutte chimique, biologique et sylvicole qui ont été élaborées et testées aux États-Unis. Certaines pourraient être adaptées à l'Est canadien, en association avec un plan de restauration potentielle et un cadre d'intervention contre les espèces envahissantes.

Lutte chimique

Les insecticides chimiques peuvent fournir une protection à court terme contre le PLP et donner le temps d'établir un programme de lutte biologique efficace. Par conséquent, **il est essentiel que les responsables de la lutte antiparasitaire au Canada aient accès à un traitement chimique contre le PLP** afin de préserver la diversité génétique de la pruche, la valeur esthétique et sociale et l'intégrité écologique, tout en mettant au point des méthodes de lutte biologique.

Aux États-Unis, les insecticides systémiques de la famille des néonicotinoïdes sont couramment utilisés pour aider à protéger les pruches contre les infestations du PLP. Les insecticides sont appliqués par trempage du sol, injections dans le sol, comprimés de sol, traitement arboricide cortical ou injection d'arbres. L'imidaclopride est le composé chimique principal utilisé. Il se présente dans différentes formulations, y compris un produit de trempage du sol vendu dans le commerce. Lorsqu'il est appliqué au sol, l'imidaclopride peut prendre de 3 à 12 mois ou plus pour se répandre dans le tissu de la pruche, selon la technique d'application utilisée et la strate du couvert examinée (Coots et coll., 2013; Benton et coll., 2015). Des effets notables du traitement ont été démontrés dans les 2-3 ans suivant l'injection d'imidaclopride dans le sol ou le tronc (Eisenback et coll., 2014). L'efficacité de l'imidaclopride et de ses métabolites est estimée être de 4 à 7 ans avant qu'une nouvelle

application ne soit nécessaire (Benton et coll., 2015, 2016). Le dinotéfurane, un autre néonicotinoïde, est également vendu aux États-Unis. Il est transporté à la cime des arbres beaucoup plus rapidement que l'imidaclopride et peut avoir des effets plus immédiats sur le PLP. Mais le dinotéfurane n'est efficace que pendant un an, donc il est souvent appliqué en association avec l'imidaclopride à des arbres nécessitant un traitement immédiat (Havill et coll., 2014).

Au Canada, l'utilisation des néonicotinoïdes est régie par l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA). La seule méthode d'application actuellement autorisée est l'injection dans le tronc en raison des effets connus des néonicotinoïdes sur les pollinisateurs et de la persistance de leur contamination des sols et de l'eau (Bonmatin et coll., 2015; Woodcock et coll., 2017). Les provinces peuvent, de leur côté, réglementer l'utilisation de tous les insecticides. Confidor^{MD}, un insecticide systémique à base d'imidaclopride, a été homologué au Canada (Bayer, 2016), puis abandonné. IMA-jet^{MD} (ARBORjet, 2014) est un autre insecticide systémique à base d'imidaclopride qui pourrait s'avérer utile contre le PLP, mais qui n'est actuellement homologué au Canada que contre l'agrile du frêne et le longicorne asiatique. Les injections d'arbres ne garantissent pas que la contamination environnementale est évitée, car le feuillage de certaines espèces d'arbres à feuilles caduques contient des concentrations d'imidaclopride injecté après la défeuillaison, et cet imidaclopride peut avoir des effets sur les organismes et les processus de décomposition (Kreutzweiser et coll., 2009). Cependant, l'effet peut ne pas se vérifier pour toutes les espèces d'arbres. Par conséquent, pour déterminer la viabilité de ces insecticides systémiques à base d'imidaclopride pour le contrôle du PLP, **des recherches sont nécessaires pour déterminer si les concentrations de ces néonicotinoïdes dans les feuilles mortes tombées des pruches après le traitement des arbres nuisent à l'écosystème environnant. Parallèlement, l'utilisation et l'efficacité des insecticides non-néonicotinoïdes pour injection dans les arbres devraient être étudiées. Par exemple, l'azadirachtine**, un produit botanique à injecter qui est dérivé de la graine de margousier, est homologué (comme TreeAzin^{MD}) pour le traitement du PLP aux États-Unis (BioForest Technologies Inc., 2017), mais des tests d'efficacité n'ont pas été réalisés. Au Canada, TreeAzin^{MD} est homologué pour le traitement de l'agrile du frêne et de 8 autres ravageurs d'arbres, mais pas pour le PLP.

Lutte biologique

L'élaboration d'un programme de lutte biologique est essentielle à la maîtrise du PLP au Canada. En s'appuyant sur les recherches effectuées dans l'est des États-Unis (Onken et Reardon, 2011; Havill et coll., 2014; Letheren et coll., 2017), les ministères fédéraux et provinciaux **devraient rechercher les agents de lutte biologique les plus prometteurs en mettant l'accent sur la collecte de prédateurs de l'ouest de l'Amérique du Nord et l'établissement de nos propres insectariums de laboratoire et de terrain pour l'élevage des prédateurs.** Il faudrait commencer les essais sur le terrain et la recherche dans le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse, où des populations du PLP sont déjà établies.

Après l'introduction du PLP dans l'est de l'Amérique du Nord, les prédateurs indigènes étaient incapables de limiter les populations du PLP, ce qui a nécessité l'introduction de prédateurs non indigènes pour réussir la lutte biologique à long terme (Wallace et Hain 2000). La lutte biologique contre le PLP dans l'Est américain s'est principalement concentrée sur l'introduction de prédateurs, car il n'y a pas de parasitoïdes connus du PLP. Le programme de lutte biologique contre le PLP dans cette région a débuté en 1992, et les introductions de prédateurs se poursuivent depuis le début des années 2000. Plusieurs agents de lutte biologique ont été examinés, notamment les coléoptères coccinellidés d'Asie (*Sasajiscymnus tsugae* Sasaji et McClure, *Scymnus sinuanodulus* Yu et Yao, *Scymnus ningshanensis* Yu et Yao et *Scymnus camptodromus* Yu et Liu), les coléoptères *Laricobius* (Derodontidae) de l'ouest de l'Amérique du Nord et du Japon (*Laricobius nigrinus* Fender et *Laricobius osakensis* Montgomery et Shiyake respectivement) et des espèces de mouches argentées de la famille Chamaemyiidae originaire de l'ouest de l'Amérique du Nord, *Leucopis argenticollis* et *L. piniperda* (Onken et Reardon, 2011). L'utilisation de champignons pathogènes a également été étudiée (Reid et coll., 2010), bien que l'impact des champignons pathogènes sur les espèces non ciblées soit plus préoccupant que celui des prédateurs (tableau 1).

Tableau 1 Résumé des agents de lutte biologique contre le PLP étudiés aux États-Unis à ce jour.

Agent de lutte biologique	Type	Origine	Première utilisation aux É.-U.	Quantité utilisée jusqu'à 2014	Problèmes
Laricobius nigrinus	coléoptère	Ouest de l'Amérique du Nord	2003	~200 000 plus de 200 sites	Nombre insuffisant pour l'introduction, hybridation avec *L. rubidus* indigène.
Laricobius osakensis	coléoptère	Japon	2012	Introduction limitée	De bons taux de récupération n'ont pas encore été atteints.
Sasajiscymnus tsugae	coléoptère	Japon	1995 (abandonné en 2014)	>200 000 plus de 400 sites	Résultats incohérents.
Scymnus sinuanodulus	coléoptère	Chine	2004	Introduction limitée	Pas de récupération et difficultés d'élevage en masse.
Scymnus ningshanensis	coléoptère	Chine	2004	Introduction limitée	Pas de récupération et difficultés d'élevage en masse.
Scymnus camptodromus	coléoptère	Chine	En cours d'introduction	S.O.	Difficultés d'élevage.
Leucopis spp.	mouche	Ouest de l'Amérique du Nord	2017	1800	Biologie méconnue.
Beauveria bassiana, Lecanicillium lecanii, Metarhizium anisopliae	Champignons pathogènes	Est des États-Unis et Chine	Testé uniquement en laboratoire (Reid et coll., 2010)	S.O.	Plus préoccupant quant à l'effet sur les espèces non ciblées.

Actuellement, les agents de lutte biologique les plus largement répandus dans l'est des États-Unis sont *L. nigrinus* et *S. tsugae*. *Sasajiscymnus tsugae* était l'un des premiers prédateurs du PLP importés, étudiés, élevés et introduits. Mais sa mise en place et son efficacité comme agent de lutte biologique contre le PLP n'ont pas été cohérentes, et il a donc été abandonné en 2014 (Havill et coll., 2014). *Laricobius nigrinus* montre plus de potentiel, avec de meilleurs taux de récupération que *S. tsugae*. *Laricobius nigrinus* est un coléoptère prédateur originaire du nord-ouest du Pacifique qui se nourrit exclusivement de pucerons et n'aboutit à sa maturation que sur le PLP. *Laricobius nigrinus* produit une génération par an et, comme les pucerons, est actif à l'automne, en hiver et au printemps et en dormance en été. *L. nigrinus* adulte se nourrit de larves pendant l'automne et l'hiver. Une larve de *L. nigrinus* se nourrit de centaines d'œufs progrediens au début du printemps. Les densités de *L. nigrinus* augmentent avec les densités du PLP. En outre, il a été prouvé le nombre introduit et les températures hivernales minimales sont positivement associées à leur établissement (Onken et Reardon 2011). Toutefois, *L. nigrinus* présente trois problèmes principaux : le nombre insuffisant pour introduction en raison de la difficulté

à le recueillir en grand nombre dans son aire naturelle du nord-ouest du Pacifique; les difficultés et le coût élevé de l'élevage, qui est toujours perfectionné en Virginie, au Tennessee et à New York; et son hybridation avec *Laricobius rubidus* (LeConte). *Laricobius rubidus* est un coléoptère prédateur originaire de l'est de l'Amérique du Nord qui se nourrit préférentiellement de pucerons de l'écorce de pin qu'on trouve sur le pin blanc, mais qui peut survivre et se générer sur le PLP observé sur la pruche du Canada. L'hybridation de *L. nigrinus* et *L. rubidus* a été confirmée à des taux de 10 à 25 %, les taux d'hybridation se stabilisant autour de 11 % au fil du temps (Fischer, 2013; Mayfield et coll., 2015).

L'efficacité possible d'un autre coléoptère prédateur, *Laricobius osakensis*, comme agent de lutte biologique contre le PLP est à l'étude. *Laricobius osakensis* est originaire de la même région du Japon que le PLP de l'est de l'Amérique du Nord et a un potentiel comme prédateur plus vorace du PLP que *L. nigrinus*. Tout comme *L. nigrinus*, *L. osakensis* se nourrit de larves du PLP en automne et en hiver. Les larves consomment des œufs de progrediens au début du printemps. La première introduction de *L. osakensis* dans l'Est américain s'est produite en 2012 (Havill et coll., 2014). Bien que de bons taux de récupération n'aient pas encore été atteints, le potentiel de *L. osakensis* en tant que prédateur plus agressif justifie une étude plus poussée.

Bien que les coléoptères *Laricobius* soient prometteurs, probablement qu'ils ne pourront pas lutter seuls contre le PLP. Par conséquent, l'utilisation complémentaire d'autres agents de lutte biologique est à l'étude. Par exemple, la mouche argentée, *Leucopis argenticollis* et *L. piniperda* de l'ouest de l'Amérique du Nord, est un prédateur potentiel qui pourrait compléter *Laricobius* spp. comme cela se fait dans le nord-ouest du Pacifique. Les larves de *Leucopis* spp. se nourrissent des œufs progrediens et sistens au début et à la fin du printemps, alors que les larves de *Laricobius* spp. se nourrissent uniquement d'œufs progrediens. En outre, on a réussi à recueillir *Leucopis* spp. en grand nombre dans la nature (p. ex. des collectes récentes ont permis de récupérer 4 000 échantillons provenant de 80 livres de branches; communication personnelle, Whitmore, 2017). *Leucopis* spp. présente également une tolérance au froid et un cycle de vie synchrone avec le PLP et a été établi expérimentalement (Grubin et Ross 2011), et sur le terrain (communication personnelle, Whitmore, 2018). Néanmoins, de nombreuses questions persistent sur la biologie et l'écologie de *Leucopis* spp. Ceci reste un domaine de recherche actuel. D'autres espèces de *Scymnus* (*Neopullus*) sont également explorées comme candidats potentiels pour compléter *Laricobius* spp., y compris *Scymnus* (*Pullus*) *coniferarum* (fourche) originaire de l'ouest de l'Amérique du Nord et *Scymnus camptodromnus* originaire de Chine. *Scymnus* spp. a le potentiel de compléter les autres prédateurs parce qu'il peut se nourrir du PLP en été alors que d'autres ne le peuvent pas. Mais *Scymnus* spp. est très difficile à élever et les introductions de *Scymnus sinuanodulus* et de *S. ningshanensis* réalisées en 2004 n'ont pas donné lieu à des récupérations ultérieures. *Scymnus camptodromus* est prometteur (Limbu et coll., 2016) (Limbu et coll., 2016), mais il est mis de côté, parce que la colonie de laboratoire a été perdue juste avant l'approbation de l'introduction et aucun effort pour ramener cette espèce de Chine n'est prévu. *Scymnus coniferarum* a été introduit en Caroline du Nord et d'après les travaux cette espèce est davantage un prédateur facultatif du PLP, ce qui pourrait lui permettre de maintenir des populations lorsque les densités du PLP sont faibles. Cependant, il peut ne pas avoir suffisamment d'impact sur les populations du PLP pour la lutte biologique.

Le plus grand défi associé aux efforts actuels de lutte biologique dans l'est des États-Unis est la disponibilité de nombres suffisants de prédateurs à introduire, car les collections indigènes ont été insuffisantes jusqu'à présent et les méthodes d'élevage en laboratoire sont coûteuses et toujours en perfectionnement. En plus de l'amélioration des techniques d'élevage en laboratoire, des insectariums de terrain ont été mis au point dans l'Est américain pour permettre la production et la collecte accessible des prédateurs du PLP (Onken et Reardon, 2011). Les insectariums de terrain sont constitués de haies de pruche taillées (≤ 8 pi de hauteur) qui hébergent les prédateurs du PLP pour l'élevage, la collecte et l'introduction. Des facteurs tels que la quantité de rayons UV et le moment de la taille des haies sont étudiés et ajustés pour obtenir des résultats d'élevage optimaux (communication personnelle, Whitmore, 2017).

Un bon prédateur pour la lutte biologique présente une spécificité élevée à l'égard des proies et un cycle de vie synchrone avec son hôte, se nourrit pendant les divers stades de vie de sa proie et se reproduit rapidement. Dans l'ensemble, les agents de lutte biologique les plus prometteurs sont *Laricobius* spp. en combinaison avec *Leucopis* spp. La recherche actuelle vise à améliorer les taux de récupération de ces prédateurs. Pour suivre l'état et la réussite de leur programme de lutte biologique, les États-Unis ont créé une base de données centrale concernant l'introduction et la surveillance des prédateurs en 2007, appelée base de données de récupération et d'introduction des prédateurs du PLP. **Les chercheurs au Canada devraient s'associer aux États-Unis pour alimenter une base de données commune concernant l'introduction et la surveillance des prédateurs du PLP afin de surveiller et de suivre la réussite de la lutte biologique contre le PLP en Amérique du Nord.** L'homologation d'un nouvel agent de lutte biologique au Canada nécessiterait de suivre les lignes directrices établies par AAC (De Clerck-Floate et coll., 2006). De plus, les évaluations antérieures des programmes canadiens de lutte biologique devraient être prises en compte (MacQuarrie et coll., 2016).

Lutte sylvicole

Au Canada, l'approche actuelle de lutte contre les incursions du PLP est la coupe des arbres lorsque l'incursion est petite et localisée et que l'éradication est jugée possible. Cependant, cette approche ne demeurera pas une option viable à long terme lorsque les incursions deviennent plus fréquentes et le PLP commence à s'établir sur de vastes zones contiguës, ni elle est applicable aux infestations bien établies en Nouvelle-Écosse.

Les options de lutte sylvicole qui ciblent le maintien et la promotion de la santé et de la résilience de la pruche ont été étudiées et sont prometteuses. Par exemple, **l'éclaircie sylvicole visant à accroître la pénétration de la lumière dans les peuplements de pruche infestés pourrait constituer une bonne tactique de lutte.** Les recherches préliminaires sur les semis de pruche infestés ont montré qu'une augmentation de 30 à 50 % de la pénétration de la lumière peut contribuer à diminuer la survie du PLP en augmentant l'exposition aux rayons UV, tout en augmentant le potentiel de photosynthèse de la pruche et le bilan de carbone (Brantley et coll., 2017). D'autres études ont montré que des concentrations plus élevées d'azote dans le feuillage sont associées à des densités accrues du PLP (Pontius et coll., 2006) et que la fertilisation à l'azote augmente la fécondité du PLP (Joseph et coll., 2011). Des essais sylvicoles ont été menés dans l'est des États-Unis avec 30 à 40 % d'éclaircie des peuplements visant en priorité l'étage intermédiaire et le sous-étage des pruches, y compris dans les peuplements sans PLP, mais à proximité des infestations du PLP (communication personnelle, Fajvan, 2017). Des approches semblables doivent encore être testées dans le contexte de la forêt acadienne de la Nouvelle-Écosse, dans le but d'atténuer les effets du PLP sur la santé des arbres, pendant que d'autres mesures de lutte sont élaborées ou combinées.

Une autre approche possible de lutte sylvicole consiste à tailler et à **couper les peuplements infestés pour empêcher le contact des branches infestées avec d'autres arbres et des vecteurs de dissémination potentiels** tels que véhicules, humains et animaux. Par exemple, dans le Maine, les techniques de lutte ont ciblé la taille des arbres infestés par le PLP dans les zones publiques pour enlever les branches et les arbres surplombant les parcs de stationnement ou les sentiers de randonnée (État de Maine, 2017). La coupe stratégique des pruches des forêts aménagées et l'utilisation de barrières physiques comme des clôtures autour des peuplements infestés pour éviter le contact avec les humains et les animaux peuvent aussi être des tactiques viables pour réduire la dissémination dans les peuplements de pruche de grande valeur (McClure 1995).

Restauration et réhabilitation

La conservation de la diversité génétique de la pruche est essentielle à la restauration et à la réhabilitation des peuplements de pruche touchés par le PLP dans l'est de l'Amérique du Nord. Étant donné que l'infestation du PLP continuera de se propager dans l'Est canadien, **la collecte de la pruche du Canada et la conservation de sa diversité génétique devraient être intégrées au plan de lutte contre le PLP**. Aux États-Unis, le programme Hemlock Gene Conservation (conservation des gènes de la pruche) a été lancé en 2003 par le Service des forêts de l'USDA et Camcore. À ce jour, des semences provenant de 750 arbres mères de la pruche du Canada dans 76 populations et 168 arbres mères de la pruche de la Caroline dans 24 populations ont été échantillonnées et

stockées (Hodge et coll., 2017). Les délimitations des zones de semences ont été utilisées pour établir l'ordre de priorité des emplacements pour la collecte des semences de pruche. Récemment, un modèle incorporant des données sur le climat, la disjonction des populations, l'abondance du PLP, la densité de collecte des semences et les paramètres génétiques a proposé pour mieux prioriser les efforts de conservation de la pruche du Canada et de la pruche de la Caroline dans l'Est américain (Hastings et coll., 2017). La conservation à long terme des semences de pruche peut se faire par l'entreposage au froid, le stockage cryogénique dans de l'azote liquide ou la plantation dans des vergers protégés situés dans d'autres pays ou des zones non infestées (Jetton et coll., 2013; Oten et coll., 2014; Hodge et coll., 2017). Le **Centre national de semences forestières (CNSF)** du Centre de foresterie de l'Atlantique à Fredericton (Service canadien des forêts de Ressources naturelles Canada,) peut traiter et entreposer une bibliothèque centralisée de semences de pruche du Canada au Canada. Toutefois, **un soutien financier serait nécessaire pour financer à l'avenir la collecte, le traitement, l'entreposage et la vérification de la viabilité des semences de pruche du Canada.** Des partenariats entre le CNSF, le Centre des espèces envahissantes (CEE) et des groupes comme la Forest Gene Conservation Association pourraient être établis pour aider à soutenir les efforts de conservation de la pruche du Canada. Cet effort serait un prolongement de l'initiative actuelle de conservation du frêne contre l'agrile du frêne et pourrait intégrer les programmes provinciaux et nationaux existants de conservation de la pruche. Par exemple, le ministère des Ressources naturelles de la Nouvelle-Écosse a recueilli et entreposé des semences dans le passé, et il prévoit recueillir des semences de pruche du Canada à l'automne 2018. Des semences de pruche du Canada ont été récoltées en Ontario, au Québec, au Nouveau-Brunswick, en Nouvelle-Écosse et à l'Île-du-Prince-Édouard entre 1997 et 2006 à des fins de recherche et de conservation générale (figure 5) et sont actuellement entreposées au CNSF. La viabilité de ces semences est mise à l'essai par le personnel du CNSF tous les 10 ans. Les résultats des essais de viabilité ont démontré le stockage réussi des semences de pruche du Canada (viabilité en général ≥ 80 %) pendant 20 ans. Les essais de viabilité sur 30 ans sont prévus en 2018.

Figure 4. *Carte montrant l'emplacement où des semences de pruche du Canada ont été récoltées à ce jour dans l'est du Canada. Les semences sont stockées au Centre national de semences forestières à Fredericton, au Nouveau-Brunswick. R représente les semences récoltées à des fins de recherche, et GC représente les semences récoltées à des fins générales de conservation. Les chiffres représentent le nombre d'arbres échantillonnés. À remarquer le manque de collectes de la partie sud-ouest de la Nouvelle-Écosse infestée par le PLP.*

Une faible diversité génétique de la pruche du Canada a été observée dans 60 populations d'Amérique du Nord (Lemieux et coll., 2011), dont 22 populations de l'Est canadien. La faible diversité génétique signifie qu'il faudra moins de collectes pour conserver la pruche du Canada dans l'est du pays. Cependant, c'est mieux d'avoir plus de collectes, d'autant plus qu'elles sont encore nécessaires pour compléter le stock existant au CNSF et maintenir une collection viable en permanence. En particulier, **la collecte et la conservation des semences du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse devraient être une priorité** en raison des populations établies du PLP qui causent la mortalité de la pruche dans cette région. Le meilleur moment pour la collecte de semences de pruche du Canada est à l'automne, de la mi-septembre à la mi-octobre. En raison de la taille des peuplements de pruche mature, la collecte non destructive de cônes nécessite généralement l'escalade des arbres ou la collecte à partir d'un hélicoptère. Cependant, si la mortalité de l'arbre est imminente, des méthodes d'échantillonnage plus destructives (scies, sécateurs, etc.) peuvent être utilisées, ce qui réduit le temps et l'effort requis pour la collecte des échantillons. Au printemps 2011, le Service canadien des forêts a mis sur pied deux essais sur le terrain de création de forêts pérennes avec des semis de pruche du Canada provenant de l'Ontario, du Québec, du Nouveau-Brunswick, de la Nouvelle-Écosse et de l'Île-du-Prince-Édouard. Ces essais en cours sur le terrain permettent de poursuivre les recherches sur la diversité génétique et phénotypique de la pruche du Canada dans l'ensemble de son aire de répartition dans l'Est canadien (communication personnelle, McPhee, 2017).

Parallèlement à la préservation de la diversité génétique, l'étude des arbres ayant une résistance naturelle au PLP est particulièrement intéressante pour la préservation et le remplacement de la pruche du Canada dans le paysage. Des recherches menées aux États-Unis ont porté sur la préservation et l'étude d'arbres résistants de la pruche du Canada et de la pruche de la Caroline. Les arbres ayant survécu à des infestations du PLP sont reproduits par voie végétative, infestés par le PLP pour confirmer leur résistance, puis placés dans un bassin de

populations reproductrices pour étude et croisement (Oten et coll., 2014). Des chercheurs au **Canada pourraient examiner les mécanismes et les gènes qui sous-tendent la résistance intraspécifique de l'hôte (pruche du Canada)** afin d'aider à l'avenir à la conservation de la pruche du Canada et à la lutte contre le PLP.

Des efforts de restauration dans l'est des États-Unis ont exploré la replantation de forêts de pruches avec des espèces de pruche résistantes. Par exemple, des recherches récentes ont montré que la pruche résistante au PLP (Tsuga chinensis) peut se développer dans cette région (Harper et Weston, 2016) et que des croisements entre espèces de pruches indigènes et non indigènes peuvent être créés pour augmenter la résistance de l'hôte au PLP (Montgomery et coll., 2009; Jonas et coll., 2012). Cependant, le remplacement des arbres par des pruches non indigènes ne contribue pas à la conservation de la pruche du Canada en tant qu'espèce. De plus, le croisement de pruches plus résistantes n'a pas été aussi efficace avec la pruche du Canada qu'avec la pruche de la Caroline (Bentz et coll., 2002) et **le remplacement d'espèces de pruches non indigènes nécessiterait des recherches plus poussées pour étudier les changements et les répercussions qui en résultent à l'échelle de l'écosystème.**

Cadre d'intervention contre les espèces envahissantes

L'intervention rapide est essentielle pour gérer efficacement les incursions et les infestations par les espèces envahissantes. Par conséquent, afin d'assurer un délai adéquat d'intervention contre les incursions actuelles et futures, un accord formel entre les organisations et les parties prenantes devrait être établi pour éviter le dédoublement des services et garantir la prise immédiate de mesures. **Un double cadre d'intervention contre le PLP devrait être élaboré pour prévoir les mesures qui seraient prises à la suite de la découverte (1) d'une population établie du PLP (c.-à-d. la situation actuelle en Nouvelle-Écosse) et (2) de nouvelles incursions du PLP (c.-à-d. le reste de l'Est canadien à risque).** À la suite de l'élaboration d'un double cadre d'intervention contre le PLP et d'une mise en œuvre en Nouvelle-Écosse, les exercices d'intervention d'urgence devraient être menés dans les autres provinces de l'Est où la pruche est menacée afin de parfaire le cadre général d'intervention contre le PLP et les cadres propres à chaque province. Ces exercices réuniraient un groupe de personnes qualifiées pour réfléchir aux mesures procédurales à prendre pour différents scénarios d'incursion afin d'assurer la préparation aux futures incursions. Cela a été fait en Ontario par le MRNFO, le ministère des Pêches et des Océans et le CEE qui ont simulé des exercices d'intervention d'urgence en cas de catastrophe pour tester les cadres d'intervention contre la carpe asiatique et le dendroctone du pin ponderosa.

Politiques et législation

L'ACIA applique la législation phytosanitaire pour réglementer le transport de tous les produits destinés ou non à la multiplication de *Tsuga* spp. (pruche) des régions réglementées du Canada et des États-Unis vers des régions non réglementées du Canada afin de contrôler l'entrée et la propagation du PLP. Le transport de l'épinette à queue tigrée *(Picea polita)* et de l'épinette de Hondo (*Picea jezoensis*), les autres hôtes indigènes du PLP en Asie, est également réglementé. La réglementation s'applique également à l'ouest du Canada pour y empêcher l'introduction de la souche orientale génétiquement distincte du PLP. Bref, cette loi stipule que le transport de produits réglementés à l'égard du PLP au Canada est interdit à moins que les produits réglementés proviennent d'une zone non réglementée exempte de PLP, soient désignés sans PLP et proviennent d'un cultivateur approuvé, ou aient été traités par un insecticide ou à la chaleur conformément aux exigences phytosanitaires décrites dans D-07-05 – *Exigences phytosanitaires visant à prévenir l'introduction et la propagation du puceron lanigère de la pruche* (*Adelges tsugae* Annand) *des États-Unis et au Canada* (ACIA, 2015a). Un arrêté sur un lieu infesté est pris lorsque de nouvelles infestations sont détectées à l'extérieur d'une zone réglementée établie afin de limiter ou d'interdire la propagation de l'organisme nuisible ou le transport des articles réglementés. Parcs Canada a imposé une interdiction de transport de toutes les espèces de bois de chauffage du parc national Kejimkujik, en Nouvelle-Écosse, où il existe des populations établies du PLP.

La *Loi sur les espèces envahissantes* est une loi propre à l'Ontario qui permet de prendre des mesures appropriées, peu importe la propriété (privée ou publique) des terres, si une espèce envahissante surveillée est

observée (gouvernement de l'Ontario, 2015). Ce genre de législation peut s'avérer utile pour la lutte contre le PLP dans les autres provinces de l'Est et devrait être pris en compte.

Éducation et sensibilisation

L'éducation et la sensibilisation préalables à une importante infestation du PLP sont essentielles, car elles facilitent la sensibilisation et assurent le soutien des parties prenantes et des collectivités, ce qui permet d'agir rapidement si nécessaire. Le travail de sensibilisation des collectivités et des parties prenantes a déjà commencé grâce aux initiatives suivantes : renseignements sur le PLP diffusés par les fiches sur les ravageurs de l'ACIA (ACIA, 2016); publications du Service canadien des forêts (Fidgen et coll., 2013); inclusion du PLP dans le Bilan annuel de la santé des forêts du MRNFO; inclusion du PLP dans le site Web Forest Invasives (CEE, 2015) et la campagne sur les médias sociaux (Twitter) du CEE; inclusion du PLP sur le site Web Invasive Insects (Ryan, 2013) de Silv-Econ; création d'un groupe de travail sur le PLP pour les gestionnaires qui servira de tribune pour discussion et communication.

D'autres options pourraient être utilisées après la découverte du PLP dans une région. On peut avoir recours à des programmes et des ateliers de science citoyenne pour accroître la sensibilisation à la prévention et à la surveillance du PLP, et utiliser des plateformes Web et des campagnes sur les réseaux sociaux pour cibler des groupes précis afin d'en accroître l'efficacité. En particulier, la science citoyenne peut être un puissant moyen d'engager et d'informer le public, tout en augmentant le potentiel de détection précoce du PLP. Nombre de ces initiatives et outils ont été lancés par le CEE avec des partenaires en Ontario et pourraient être déployés dans d'autres parties du pays. Par exemple, le CEE et l'Ontario Invasive Plant Council (Conseil ontarien sur les plantes envahissantes) ont créé le Réseau citoyen de la science du programme Détection précoce et intervention rapide (EDRR) centré sur l'identification et le signalement des espèces envahissantes. Grâce à ce réseau, des volontaires ont été formés à la détection du PLP par la technique d'échantillonnage par balles. Dans le cadre d'une initiative connexe, le CEE, le MRNFO et la Fédération des chasseurs et pêcheurs de l'Ontario ont mis au point une version de l'Early Detection and Distribution Mapping System (EDDMapS Ontario) pour le PLP qui permet de signaler et de documenter les incursions du PLP au moyen d'une appli mobile. Le CEE et Silv-Econ ont créé une enquête sur le PLP pour les parties prenantes qui a aidé à déterminer les besoins de sensibilisation en Ontario. Les résultats de l'enquête ont mis en évidence le besoin d'une fiche d'information centralisée sur le PLP et d'une brochure sur les pratiques exemplaires de lutte à l'intention des propriétaires de boisés.

Besoins en recherche

Des efforts de recherche sont nécessaires pour assurer la préparation aux incursions continues du PLP dans l'est du Canada et pour s'attaquer à l'établissement actuel du PLP en Nouvelle-Écosse. Pour compléter les recherches antérieures et actuelles menées aux États-Unis, les futurs travaux au Canada devraient être coordonnés au moyen d'un plan de recherche complet (suivant le modèle créé par le Service canadien des forêts pour l'agrile du frêne), en mettant l'accent sur les domaines suivants :

1. Amélioration de la détection précoce et de la surveillance des incursions du PLP :
    - Dresser l'inventaire complet des pruches dans l'est du Canada afin de prioriser la surveillance des zones de grande valeur et à haut risque d'incursions du PLP.
    - Améliorer ou développer des méthodes pour mieux détecter le PLP à de faibles densités.

2. Évaluation de l'importance des oiseaux migrateurs comme voie d'introduction dans l'est du Canada :
    - À partir des bases de données disponibles, reconnaître et repérer les routes d'oiseaux migrateurs qui coïncident avec la répartition de la pruche du Canada.

- Procéder chaque année, sur le terrain, au relevé de diverses espèces d'oiseaux migrateurs aux haltes migratoires qui contiennent de la pruche. Inspecter les chenilles, les quantifier et passer ensuite à l'inspection des pruches voisines.

3. Identification d'un insecticide systémique pour la protection des pruches de grande valeur au Canada :
   - Évaluer l'homologation potentielle de Confidor[MD], IMA-jet[MD] et TreeAzin[MD] pour l'utilisation contre le PLP au Canada.
   - Évaluer le risque d'utilisation de l'imidaclopride systémique homologué pour l'écosystème selon les concentrations potentiellement dangereuses d'imidaclopride et de ses métabolites dans les feuilles mortes tombées des pruches après le traitement des arbres.

4. Étude et élevage des prédateurs les plus prometteurs pour la lutte biologique contre le PLP au Canada :
   - Recueillir et étudier les prédateurs du PLP de l'ouest du Canada.
   - Coopérer avec les États-Unis pour perfectionner les techniques d'élevage en laboratoire et sur le terrain.
   - Lancer des essais sur le terrain et des recherches sur les agents de lutte biologique dans les populations du PLP du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse.

5. Détermination des mécanismes et des gènes responsables de la résistance intraspécifique de l'hôte dans la pruche du Canada :
   - Commencer à rechercher une résistance naturelle de l'hôte chez les pruches du Canada individuelles dans le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse et dans l'Est canadien, à mesure que d'autres incursions du PLP surviennent.
   - Effectuer des études génétiques et phénotypiques sur la pruche du Canada.

6. Exploration de l'utilisation des techniques sylvicoles pour réduire la mortalité de la pruche causée par le PLP :
   - S'appuyer sur les recherches existantes en testant davantage l'efficacité de l'éclaircie pour la réduction des densités du PLP et de la mortalité des pruches.
   - Examiner l'efficacité des barrières et de la taille dans le ralentissement de la dissémination du PLP.

7. Élaboration d'un double cadre d'intervention contre les espèces envahissantes pour les incursions du PLP dans l'est du Canada :
   - Créer un double cadre d'intervention dans les cas : (1) des populations établies du PLP (c.-à-d. en Nouvelle-Écosse) et (2) des nouvelles incursions du PLP (c.-à-d. dans l'Est canadien).
   - Appliquer directement le cadre d'intervention contre les populations établies à la situation actuelle en Nouvelle-Écosse et suivre les progrès.
   - Effectuer des exercices d'intervention d'urgence en fonction de scénarios d'incursions possibles du PLP dans l'Est canadien.

8. Évaluation de la dynamique des populations du PLP établies et de leur effet sur les arbres :
   - Évaluer les facteurs qui influent sur la dynamique des populations établies du PLP et de la mortalité associée à la pruche en Nouvelle-Écosse. En particulier, l'analyse de la table de survie portant sur la mortalité des sistens estivants en été et sur la mortalité des larves pendant les mois froids de l'hiver permettrait de comprendre l'impact des conditions météorologiques en Nouvelle-Écosse sur le PLP.
   - Surveiller et évaluer le taux de propagation et les mécanismes de dissémination du PLP en Nouvelle-Écosse.

9. Détermination et gestion des besoins de communication et de sensibilisation :

- Créer et diffuser un sondage aux parties prenantes du Québec, du Nouveau-Brunswick, de la Nouvelle-Écosse et de l'Île-du-Prince-Édouard afin d'évaluer les besoins de communication propres à chaque province.

Ouvrages cités

ACIA. 2015a. D-07-05 : Exigences phytosanitaires visant à prévenir l'introduction et la propagation du puceron lanigère de la pruche (*Adelges tsugae* Annand) à partir des États-Unis et au Canada. Consultable sur : http://www.inspection.gc.ca/vegetaux/phytoravageurs-especes-envahissantes/directives/forets/d-07-05/fra/1323754212918/1323754664992 [consultée le 30 juin 2017].

ACIA. 2015b. D-08-04 : Exigences phytosanitaire régissant l'importation de végétaux et de parties de végétaux destinés à la plantation. Consultable sur : http://www.inspection.gc.ca/vegetaux/phytoravageurs-especes-envahissantes/directives/importation/d-08-04/fra/1323752901318/1323753560467 [consultée le 8 mars 2018].

ACIA. 2016. *Adelges tsugae* (Puceron lanigère de la pruche) - Fiche de renseignements. Consultable sur : http://www.inspection.gc.ca/vegetaux/phytoravageurs-especes-envahissantes/insectes/puceron-lanigere-de-la-pruche/fiche-de-renseignements/fra/1325616708296/1325618964954 [consultée le 30 juin 2017].

ACIA. 2017a. Présence du puceron lanigère de la pruche confirmée en Nouvelle Écosse. Consultable sur : https://www.canada.ca/fr/agence-inspection-aliments/nouvelles/2017/08/presence_du_puceronlanigeredelaprucheconfirmeeennouvelleecosse.html [consultée le 27 janvier 2018].

ACIA. 2017b. Le puceron lanigère de la pruche : Arrêté sur les lieux infestés. Consultable sur : http://www.inspection.gc.ca/vegetaux/phytoravageurs-especes-envahissantes/directives/forets/d-07-05/annexe-1/arrete-sur-les-lieux-infestes/fra/1509477446884/1509477563680 [consultée le 27 janvier

ACIA; Turgeon, J.; Fidgen, J. 2017. Delimitation survey protocol: Hemlock woolly adelgid. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts; Agence canadienne d'inspection des aliments, Unité de protection des végétaux, RDIMS #6297524 (document interne). *(seulement anglais)*

ACIA. 2018. Puceron lanigère de la pruche *Adelges tsug*ae Annand. Protocole d'enquête de dépistage. RDIMS #3893945

Agriculture Canada, 1988. Hemlock Woolly Adelgid, *Adelges tsugae* Annand (Homoptera: Adelgidae). Évaluation préliminaire du risque phytosanitaire (PRA # indisponible). produite par la section biologique d'Agriculture Canada, Ottawa, Ontario.

Agriculture Canada, 1988. Puceron lanigère de la pruche, *Adelges tsugae* Annand (Homoptera: Adelgidae). Évaluation préliminaire du risque phytosanitaire (PRA # indisponible) produite par la section biologique d'Agriculture Canada, Ottawa (Ontario). *(seulement anglais)*

Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC). 1994. Hemlock woolly adelgid, *Adelges tsugae* Annand (Homoptera: Adelgidae) pest risk assessment (PRA # 94-04). Agence canadienne d'inspection des aliments, Unité d'évaluation de risques phytosanitaires, Division des science, Nepean (Ontario). *(seulement anglais)*

Ancient Forest Exploration and Research. (n.d.). A citizen's guide to hemlock woolly adelgid detection in Ontario. Consultable sur : http://www.ancientforest.org/hwa/ [consultée le 6 mars 2018].

ARBORjet. 2014. Arborjet's IMA-jet now available in Canada for control against emerald ash borer and Asian longhorned beetle. Consultable sur : http://arborjet.com/assets/pdf/IMA-jet_Canada_08_05_13_FINAL.pdf [consultée le 6 mars 2018].

Bain, B. 2017. Correspondance par courriel. Technicien d'inventaire et terrain, Communautés, Terres et Environnement Forêts, pêche et faune Inventaire et modélisation des ressources.

Bayer. 2016. CONFIDOR[MD]200 SL systémique contre des insectes. Décision d-homologation RD2016-28, Imidaclorpride. Consultable sur : https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securite-produits-consommation/rapports-publications/pesticides-lutte-antiparasitaire/decisions-mises-jour/decision-homologation/2016/imidaclorpride-rd2016-28.html [consultée le 12 avril 2018]

Benton, E.P.; Grant, J.F.; Webstèr, R.J.; Cowles, R.S.; Lagalante, A.F.; Saxton, A.M.; Nichols, R.J.; Coots, C.I. 2016. Hemlock woolly adelgid (Hemiptera: Adelgidae) abundance and hemlock canopy health numerous years after imidacloprid basal drench treatments: implications for management programs. J. Econ. Entomol. 109(5): 2125–2136. doi:10.1093/jee/tow160.

Benton, E.P.; Grant, J.F.; Webster, R.J.; Nichols, R.J.; Cowles, R.S.; Lagalante, A.F.; Coots, C.I. 2015. Assessment of imidacloprid and its metabolites in foliage of eastern hemlock multiple years following treatment for hemlock woolly adelgid, *Adelges tsugae* (Hemiptera: Adelgidae), in forested conditions. J. Econ. Entomol. 108(6): 2672–2682. doi:10.1093/jee/tov24.1.

Bentz, S.E.; Riedel, L.G.H.; Pooler, M.R.; Townsend, A.M. 2002. Hybridization and self-compatibility in controlled pollinations of eastern North American and Asian hemlock (*Tsuga*) species. J. Arboric. 28(4): 200–205.

BioForest Technologies Inc. 2017. Insecticide systémique TreeAzin[MD]. Consultable sur : http://www.bioforest.ca/index.cfm?fuseaction=content&menuid=12&pageid=1012 [consultée le 6 mars 2018].

Bonmatin, J.M.; Giorio, C.; Girolami, V.; Goulson, D.; Kreutzweiser, D.P.; Krupke, C.; Liess, M.; Long, E.; Marzaro, M.; Mitchell, E.A.; Noome, D.A.; Simon-Delso, N.; Tapparo, A. 2015. Environmental fate and exposure; neonicotinoids and fipronil. Environ. Sci. Pollut. Res. 22(1): 35–67. doi:10.1007/s11356-014-3332-7.

Brantley, S.T.; Mayfield, A.E.; Jetton, R.M.; Miniat, C.F.; Zietlow, D.R.; Brown, C.L.; Rhea, J.R. 2017. Elevated light levels reduce hemlock woolly adelgid infestation and improve carbon balance of infested eastern hemlock seedlings. For. Ecol. Manage. 385: 150–160. Elsevier B.V. doi:10.1016/j.foreco.2016.11.028.

Brantley, S.T.; Miniat, C.F.; Elliott, K.J.; Laseter, S.H.; Vose, J.M. 2015. Changes to southern Appalachian water yield and stormflow after loss of a foundation species. Ecohydrology 8: 518–528. doi:10.1002/eco.1521.

Cobb, R.C. 2010. Species shift drives decomposition rates following invasion by hemlock woolly adelgid. Oikos 119: 1291–1298. doi:10.1111/j.1600-0706.2009.18308.x.

Coots, C.; Lambdin, P.; Grant, J.; Rhea, R. 2013. Spatial and temporal distribution of residues of imidacloprid and its insecticidal 5-hydroxy and olefin and metabolites in eastern hemlock (Pinales: Pinaceae) in the southern Appalachians. J. Econ. Entomol. 106(6): 2399–2406. doi:10.1603/EC13142.

Costa, S.; Onken, B. 2006. Standardized sampling for detection and monitoring of hemlock woolly adelgid in eastern hemlock forests. US Department of Agriculture, US Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team, Technology Transfer, FHTET-2006-16(octobre).

Cunard, C.; Lee, T.D. 2009. Is patience a virtue? Succession, light, and the death of invasive glossy buckthorn (*Frangula alnus*). Biol. Invasions 11: 577–586. doi:10.1007/s10530-008-9272-8.

De Clerck-Floate, R.A.; Mason, P.G.; Parker, D.J.; Gillespie, D.R.; Broadbent, A.B.; Boivin, G. 2006. Guide relatif à l'importation et à la dissémination au Canada d'arthropodes exotiques destinés à la lutte biologique. Electronique. Consultable sur : http://publications.gc.ca/site/eng/9.632635/publication.html [consultée le 6 mars 2018].

Dumouchel, L. 2000. Hemlock woolly adelgid *Adelges tsugae* Annand pest risk assessment (PRA # 99-46). Agence canadienne d'inspection des aliments, unité d'Évaluation des risques phytosanitaires, Division des sciences de la protection des végétaux, Nepean (Ontario). *(seulement anglais)*

Eisenback, B.M.; Salom, S.M.; Kok, L.T.; Lagalante, A.F. 2014. Impacts of trunk and soil injections of low rates of imidacloprid on hemlock woolly adelgid (Hemiptera: Adelgidae) and eastern hemlock (Pinales: Pinaceae) health. J. Econ. Entomol. 107(1): 250–258. doi:10.1603/EC13343.

Eschtruth, A.K.; Battles, J.J. 2009. Assessing the relative importance of disturbance, herbivory, diversity, and propagule pressure in exotic plant invasion. Ecol. Monogr. 79(2): 265–280. doi:10.1890/08-0221.1

Eschtruth, A.K.; Cleavitt, N.L.; Battles, J.J.; Evans, R. a; Fahey, T.J. 2006. Vegetation dynamics in declining eastern hemlock stands: 9 years of forest response to hemlock woolly adelgid infestation. Can. J. For. Res. 36: 1435–1450. doi:10.1139/x06-050.

Fajvan, M.A. 2017. Communication personnelle. US Forest Service.

Fidgen, J.G.; Turgeon, J.J.; Allison, J.D.; Humble, L.M. 2014. A Le puceron lanigère de la pruche, une espèce exotique envahissante trouvée en Ontario. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Sault Ste. Marie (Ontario). Frontline note technique 114, 6 p.

Fidgen, J.G.; Whitmore, M.C.; Turgeon, J.J. 2015. Detection of hemlock woolly adelgid (Hemiptera : Adelgidae) infestations with sticky traps. Great Lakes Entomol. 48(3-4):125-131. Consultable sur : https://scholar.valpo.edu/tgle/vol48/iss3/4/

Fidgen, J.G.; Whitmore, M.C.; Turgeon, J.J. 2016. Ball sampling, a novel method to detect *Adelges tsugae* (Hemiptera: Adelgidae) in hemlock (Pinaceae). Can. Entomol. 148: 118–121. doi:10.4039/tce.2015.29.

Fischer, M.J. 2013. Evaluation of hybridization among three *Laricobius* species, predators of hemlock woolly adelgid, (Adelgidae). PhD dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University.

Gannon, H. 2017. Correspondance par courriel. Expert-forestier en produits du bois, Gestion des forets (Direction), Ministères du développement de l'énergie et des ressources, Fredericton (Nouveau-Brunswick).

Gouvernement de l'Ontario. 2015. Espèces envahissantes. Consultable sur : https://www.ontario.ca/fr/lois/loi/s15022 [consultée le 6 mars 2018]

Grubin, S.M.; Ross, D.W.; Wallin, K.F. 2011. Prey suitability and phenology of *Leucopis* spp. (Diptera : Chamaemyiidae) associated with hemlock woolly adelgid (Hemiptera: Adelgidae) in the Pacific Northwest. Environmental Entomology 40(6): 1410-6. doi: 10.1603/EN11127.

Hadley, J.L.; Kuzeja, P.S.; Daley, M.J.; Phillips, N.G.; Mulcahy, T.; Singh, S. 2008. Water use and carbon exchange of red oak- and eastern hemlock- dominated forests in the northeastern USA : implications for ecosystem-level effects of hemlock woolly adelgid. Tree Physiol. 28: 615–627.

Harper, R.W.; Weston, P.A. 2016. Potential of alternative *Tsuga* spp. as landscape replacements for *T. canadensis*: Longer-term evaluation and propagation of *T. chinensis*. Arboric. Urban For. 42(5): 346–354.

Hastings, J.M.; Potter, K.M.; Koch, F.H.; Megalos, M.; Jetton, R.M. 2017. Prioritizing conservation seed banking locations for imperiled hemlock species using multi-attribute frontier mapping. New For. 48: 301–316. Springer Netherlands. doi:10.1007/s11056-017-9575-7.

Havill, N.; Vieira, L.; Salom, S. 2014. Biology and control of hemlock woolly adelgid. US Department of Agriculture, US Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team, Technology Transfer, FHTET-2014-05(avril).

Havill, N.P.; Montgomery, M.E.; Yu, G.; Shiyake, S.; Caccone, A. 2006. Mitochondrial DNA from hemlock woolly adelgid (Hemiptera : Adelgidae) suggests cryptic speciation and pinpoints the source of the introduction to eastern North America. Ann. Entomol. Soc. Am. 99(2): 195–203.

Hodge, G.R.; Lopez, J.L.; Acosta, J.J.; Woodbridge, W.C.; Jump, J.; Jetton, R.M.; Whittier, W.A.; McGee, J.R.; Gutierrez, E. 2017. Camcore 2016 annual report.

Hudson, K. 2017. Correspondance par courriel. Gestionairre, Scaling and Forest Regulation Administration, Truro, Nova Scotia.

Ingwell, L.L.; Miller-pierce, M.; Trotter, R.T.I.; Preisser, E.L. 2012. Vegetation and invertebrate community response to eastern hemlock decline in Southern New England. Northeast. Nat. 19(4): 541–558.

ISC. 2015. Meet the species: hemlock woolly adelgid. Consultable sur : http://forestinvasives.ca/Meet-the-Species/Insects/Hemlock-Wooly-Adelgid [consultée le 6 mars 2018].

Janowiak, M.K.; D'Amato, A.W.; Swanston, C.W.; Iverson, L.; Thompson, F.R.; Dijak, W.D.; Matthews, S.; Peters, M.P.; Prasad, A.; Fraser, J.S.; Brandt, L.A.; Butler-Leopold, P.; Handler, S.D.; Shannon, P.D.; Burbank, D.; Campbell, J.; Cogbill, C.; Duveneck, M.J.; Emery, M.R.; Fisichelli, N.; Foster, J.; Hushaw, J.; Kenefic, L.; Mahaffey, A.; Morelli, T.L.; Reo, N.J.; Schaberg, P.G.; Simmons, K.R.; Weiskittel, A.; Wilmot, S.; Hollinger, D.; Lane, E.; Rustad, L.; Templer, P.H. 2018. New England and northern New York forest ecosystem vulnerability assessment and synthesis : a report from the New England climate change response framework project. Gen. Tech. Rep. NRS-173. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 234 p. doi:10.2737/NRS-GTR-173.

Jenkins, J.C.; Aber, J.D.; Canham, C.D. 1999. Hemlock woolly adelgid impacts on community structure and N cycling rates in eastern hemlock forests. Can. J. For. Res. 29: 630–645.

Jetton, R.M.; Whittier, W.A.; Dvorak, W.S.; Rhea, J. 2013. Conserved ex situ genetic resources of eastern and Carolina hemlock: eastern North American conifers threatened by the hemlock woolly adelgid. Tree Plant. Notes 56(2): 59–71.

Jonas, S.Z.; Xi, W.; Waldron, J.D.; Coulson, R.N. 2012. Impacts of hemlock decline and ecological considerations for hemlock stand restoration following hemlock woolly adelgid outbreaks. Tree For. Sci. Biotechnol. 6(1): 22–26.

Joseph, S. V.; Braman, S.K.; Hanula, J.L. 2011. Effects of fertilization of four hemlock species on *Adelges tsugae* (Hemiptera: Adelgidae) growth and feeding preference of predators. J. Econ. Entomol. 104: 288–298. doi:10.1603/EC10163.

Koch, F.H.; Cheshire, H.M.; Devine, H.A. 2006. Landscape-scale prediction of hemlock woolly adelgid, *Adelges tsugae* (Homoptera: Adelgidae), infestation in the Southern Appalachian Mountains. Environ. Entomol. 35(5): 1313–1323.

Kreutzweiser, D.P.; Thompson, D.G.; Scarr, T.A. 2009. Imidacloprid in leaves from systemically treated trees may inhibit litter breakdown by non-target invertebrates. Ecotoxicol. Environ. Saf. 72(4): 1053–1057. doi:10.1016/j.ecoenv.2008.09.017.

Lacroix, S. 2017. Correspondance par courriel. Direction générale du Bureau de mise en marché des bois Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (Québec).

Lemieux, M.J.; Beaulieu, J.; Bousquet, J. 2011. Chloroplast DNA polymorphisms in eastern hemlock: range-wide genogeographic analyses and implications for gene conservation. Can. J. For. Res. 41: 1047–1059. doi:10.1139/x11-005.

Letheren, A.; Hill, S.; Salie, J.; Parkman, J.; Chen, J. 2017. A little bug with a big bite: Impact of hemlock woolly adelgid infestations on forest ecosystems in the eastern USA and potential control strategies. Int. J. Environ. Res. Public Health 14: 438. doi:10.3390/ijerph14040438.

Limbu, S.; Cassidy, K.; Keena, M.; Tobin, P.; Hoover, K. 2016. Host range specificity of *Scymnus camptodromus* (Coleoptera: Coccinellidae), a predator of hemlock woolly adelgid (Hemiptera: Adelgidae). Environ. Entomol. 45(1): 94–100. doi:10.1093/ee/nvv174.

Livingston, W.H.; Pontius, J.; Costanza, K.K.L.; Trosper, S. 2017. Using changes in basal area increments to map relative risk of HWA impacts on hemlock growth across the Northeastern U.S.A. Biol. Invasions 19: 1577–1595. doi:10.1007/s10530-017-1380-x.

Lombardo, J.A.; Elkinton, J.S. 2017. Environmental adaptation in an asexual invasive insect. Ecol. Evol. 7: 5123–5130. doi:10.1002/ece3.2894.

MacQuarrie, C.J.K.; Lyons, D.B.; Lukas Seehausen, M.; Smith, S.M. 2016. A history of biological control in Canadian forests, 1882–2014. Can. Entomol. 148(S1): S239–S269. doi:10.4039/tce.2015.66.

Mayfield, A.E.; Reynolds, B.C.; Coots, C.I.; Havill, N.P.; Brownie, C.; Tait, A.R.; Hanula, J.L.; Joseph, S. V.; Galloway, A.B. 2015. Establishment, hybridization and impact of *Laricobius* predators on insecticide-treated hemlocks: Exploring integrated management of the hemlock woolly adelgid. For. Ecol. Manage. 335: 1–10. doi:10.1016/j.foreco.2014.09.021.

Ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario (MNRFO). 2016. Rapport sur les ressources forestières de l'Ontario 2016. Section de la durabilité des forêts et de l'information, Direction des politiques relatives aux forêts et aux terres de la Couronne, Sault Ste. Marie (Ontario).

McAvoy, T.J.; Régnière, J.; St-Amant, R.; Schneeberger, N.; Salom, S.M. 2017. Mortality and recovery of hemlock woolly adelgid (*Adelges tsugae*) in response to winter temperatures and predictions for the future. Forests 8: 497. doi:10.3390/f8120497.

McClure, M.S. 1989. Evidence of a polymorphic life cycle in the hemlock woolly adelgid, *Adelges tsugae* (Homoptera: Adelgidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 82(1): 50–54.

McClure, M.S. 1990. Role of wind, birds, deer, and humans in the dispersal of hemlock woolly adelgid (Homoptera: Adelgidae). Environ. Entomol. 19(1): 36–43.

McClure, M.S. 1995. Managing hemlock woolly adelgid in ornamental landscapes. The Connecticut Agricultural Experiment Station, New Haven, CT, USA.

McCormack, A. 2017. Correspondance par courriel. Division de l'industrie forestière, Direction des opérations, MNRFO (Ontario).

McGarrigle, E. 2018. Correspondance par courriel. Analyste des données de l'inventaire forestier, Nova Scotia Department of Natural Resources, Forestry Division.

McPhee, D. 2017. Communication personnelle. Technicienne, génétique forestière, Centre national de semences forestières, Centre de foresterie de l'Atlantique, Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada, Fredericton (Nouveau-Brunswick).

Montgomery, M.E.; Bentz, S.E.; Olsen, R.T. 2009. Evaluation of hemlock (*Tsuga*) species and hybrids for resistance to *Adelges tsugae* (Hemiptera: Adelgidae) using artificial infestation. J. Econ. Entomol. 102(3): 1247–1254. doi:10.1603/029.102.0351.

Onken, B.; Reardon, R. 2011. Implementation and status of biological control of the hemlock woolly adelgid. US Department of Agriculture, US Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team, Technology Transfer, FHTET-2011-04(décembre). Consultable sur : https://www.fs.usda.gov/naspf/publications/implementation-and-status-biological-control-hemlock-woolly-adelgid. [consultée le 6 avril 2018].

Oten, K.L.F.; Merkle, S.A.; Jetton, R.M.; Smith, B.C.; Talley, M.E.; Hain, F.P. 2014. Understanding and developing resistance in hemlocks to the hemlock woolly adelgid. Southeast. Nat. 13(6): 147–167. doi:10.1656/058.013.s610.

Paradis, A.; Elkinton, J.; Hayhoe, K.; Buonaccorsi, J. 2008. Role of winter temperature and climate change on the survival and future range expansion of the hemlock woolly adelgid (*Adelges tsugae*) in eastern North America. Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang. 13: 541–554. doi:10.1007/s11027-007-9127-0.

Pontius, J.A.; Hallett, R.A.; Jenkins, J.C. 2006. Foliar chemistry linked to infestation and susceptibility to hemlock woolly adelgid (Homoptera: Adelgidae). Environ. Entomol. 35(1): 112–120. doi:10.1603/0046-225X-35.1.112.

Reid, W.R.; Parker, B.L.; Gouli, S.Y.; Skinner, M.; Gouli, V. V; Teillon, H.B. 2010. Fungi associated with the hemlock woolly adelgid, *Adelges tsugae*, and assessment of entomopathogenic isolates for management. J. Insect Sci. 10(62): 1–18.

Russo, N.J.; Cheah, C.A.S.J.; Tingley, M.W. 2016. Experimental evidence for branch-to-bird transfer as a mechanism for avian dispersal of the hemlock woolly adelgid (Hemiptera: Adelgidae). Environ. Entomol. 45(5): 1107–1114. doi:10.1093/ee/nvw083.

Ryan, K. 2013. Hemlock woolly adelgid is coming, what do I do? Tools for forest managers and landowners. Consultable sur : http://www.invasiveinsects.ca/hwa/hwa.html [consultée le 30 June 2017].

Ryan, K. 2017. Correspondance par courriel. Entomologiste forestier, Silv-Econ Ltd.

Shields, K.S.; Cheah, C.A.S.-J. 2004. 2002-2003 winter mortality of hemlock woolly adelgid in the Northeastern United States. *dans* Proceedings, XV USDA Interagency Research Forum on Gypsy Moth and Other Invasive Species. p. 72.

Spaulding, H.L.; Rieske, L.K. 2010. The aftermath of an invasion : Structure and composition of Central Appalachian hemlock forests following establishment of the hemlock woolly adelgid, *Adelges tsugae*. Biol. Invasions 12: 3135–3143. doi:10.1007/s10530-010-9704-0.

State of Maine. 2017. HWA report and update. *In* 3rd Annual Hemlock Woolly Adelgid Program Managers Meeting. Chattanooga, TN.

Tingley, M.W.; Orwig, D.A.; Field, R.; Motzkin, G. 2002. Avian response to removal of a forest dominant: Consequences of hemlock woolly adelgid infestations. J. Biogeogr. 29: 1505–1516. doi:10.1046/j.1365-2699.2002.00789.x.

Trotter, R.T.; Morin, R.S.; Oswalt, S.N.; Liebhold, A. 2013. Changes in the regional abundance of hemlock associated with the invasion of hemlock woolly adelgid (*Adelges tsugae* Annand). Biol. Invasions 15: 2667–2679. doi:10.1007/s10530-013-0482-3.

USDA Forest Service. 2005. Hemlock woolly adelgid "look-alikes." Consultable sur : http://na.fs.fed.us/spfo/pubs/pest_al/hemlock/hwa05.htm [consultée le 17 juin 2017].

Wallace, M.S.; Hain, F.P. 2000. Field surveys and evaluation of native and established predators of the hemlock woolly adelgid (Homoptera : Adelgidae) in the Southeastern United States. Biol. Control 29(3): 638–644.

Ward, J.S.; Montgomery, M.E.; Cheah, C.A.S.-J.; Onken, B.P.; Cowles, R.S. 2004. Eastern hemlock forests : guidelines to minimize the impacts of hemlock woolly adelgid. United States Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area State & Private Forestry, Morgantown, WV, NA- TP-03-04.

Whitmore, M.C. 2017. Communication personnelle. Entomologiste forestier, Cornell University.

Whitmore, M.C. 2018. Communication personnelle. Entomologiste forestier, Cornell University.

Woodcock, B.A.; Bullock, J.M.; Shore, R.F.; Heard, M.S.; Pereira, M.G.; Redhead, J.; Ridding, L.; Dean, H.; Sleep, D.; Henrys, P.; Peyton, J.; Hulmes, S.; Hulmes, L.; Sárospataki, M.; Saure, C.; Edwards, M.; Genersch, E.; Knäbe, S.; Pywell, R.F. 2017. Country-specific effects of neonicotinoid pesticides on honey bees and wild bees. Science. 356: 1393–1395. doi:10.1126/science.aaa1190.